

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg



Fakultät für Informatik
Institut für Simulation und Graphik

Projektbericht

Wahrnehmungsbasierte Studie zur simultanen Darstellung von zwei Skalarparametern auf planaren Flächen

Verfasser:

Elke Grabe und Sophie Herbrechtsmeyer

Studiengang:

Computervisualistik (Master)

Betreuer:

Monique Meuschke

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Preim

24. Oktober 2018

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufbau des Berichts	2
2 Grundlagen	3
2.1 Skalarparameter von Aneurysmen	3
2.2 Parameterdarstellung	4
2.2.1 1D Farbskala	4
2.2.2 Schachbrett	5
2.2.3 Image-based Hatching (Schraffur)	5
2.2.4 Textur	7
2.2.5 2D Farbskala	7
3 Konzept zur zeitgleichen Darstellung von zwei Skalarparametern	8
3.1 Weitere Visualisierungstechniken	8
3.1.1 Farbe und Kreis-Textur	8
3.1.2 2D Farbskala	10
3.2 Hypothesen	14
4 Nutzerstudie	18
4.1 Durchführung	20
4.2 Ergebnisse	21
5 Auswertung	25
5.1 Auswertungsmethoden	25

5.1.1	Auswertung der quantitativen Fragen	25
5.1.2	Auswertung der qualitativen Fragen	27
5.2	Diskussion	28
5.2.1	Diskussion der Visualisierungstechniken	30
5.2.2	Diskussion des Nutzerstudiendesigns	30
6	Zusammenfassung und Ausblick	32
6.1	Zusammenfassung	32
6.2	Ausblick	32
A	Fragebögen	I
B	Präsentationen	XXII
	Literaturverzeichnis	XXVII

Kapitel 1

Einleitung

In diesem Kapitel wird zuerst eine Motivation zur Einleitung in das Thema gegeben, sowie das Ziel der Arbeit genannt und der Aufbau der Arbeit vorgestellt.

1.1 Motivation

Eine Krankheit, die in allen Altersgruppen auftreten kann [19], ist das zerebrale Aneurysma. Es handelt sich dabei um die Aussackung einer geschwächten Blutgefäßwand im Gehirn. Die Ruptur eines Aneurysmas führt durch Einblutungen in das umliegende Gewebe in circa einem Drittel der Fälle zum Tod [10]. Da Aneurysmen aber nur selten rupturieren und auch eine frühzeitige Behandlung hohe Risiken birgt, ist es nötig, diese zunächst zu beobachten und das Rupturrisiko im Verhältnis zum Behandlungsrisiko und weiteren Aspekten abzuschätzen. Um die Behandlung auf Hochrisikopatienten zu beschränken, ist eine bessere Erforschung des Rupturrisikos nötig. Es wird vermutet, dass bestimmte Kombinationen von Eigenschaften einer Aneurysmawand dieses Risiko beeinflussen. Messbare Eigenschaften werden als Skalarparameter bezeichnet. Um die Erforschung des Rupturrisikos zu verbessern, ist es nützlich, die Skalarparameter gleichzeitig auf der Aneurysmaoberfläche darzustellen, sodass die Wandeigenschaften in Kombination leichter erfasst werden können.

In diesem Teamprojekt werden vier verschiedene Techniken zur Visualisierung von zwei Skalarparametern gegenübergestellt und im Rahmen einer Nutzerstudie miteinander verglichen. Die Nutzerstudie zielt auf den Erkenntnisgewinn bezüglich der Wahrnehmung ab, weshalb die Studie mit Probanden durchgeführt wird, die kein medizinisches Hintergrundwissen zur Thematik besitzen müssen. Die Visualisierung wird für die Nutzerstudie ausschließlich auf planaren Flächen dargestellt, um zunächst grundlegende Vergleiche zwischen den Techniken zu ermöglichen. Der Einfluss durch Biasfaktoren, wie beispielsweise durch Schattierungen von 3D Oberflächen oder durch unbekannte medizinische Sachverhalte, soll durch eine 2D Darstellung verhindert werden. Ziel der Arbeit ist der Erkenntnisgewinn darüber, welche der vorgestellten Visualisierungstechniken am besten geeignet ist, um zeitabhängige und zeitunabhängige Skalarparameter darzustellen.

1.2 Aufbau des Berichts

Diese Arbeit ist in folgende Kapitel aufgeteilt:

Kapitel 1 gibt eine kurze Motivation zum Thema und dem Ziel der Arbeit.

Kapitel 2 beinhaltet die Grundlagen, die für die Durchführung der Nutzerstudie erklärt und festgelegt werden müssen. Im Allgemeinen beinhaltet dies die Art und Herkunft der Daten, sowie die Darstellung von Daten.

Kapitel 3 erläutert die eigenentwickelten Visualisierungstechniken und die Hypothesen, die mit Hilfe der Nutzerstudie getestet werden sollen.

Kapitel 4 stellt den Aufbau der Nutzerstudie, die Durchführung und die Ergebnisse dar.

Kapitel 5 wertet die Ergebnisse mittels statistischer Tests aus, sodass die Hypothesen getestet werden können und diskutiert die ausgewerteten Ergebnisse.

Kapitel 6 fasst die Zielerreichung zusammen und gibt Ausblicke, die aus den gewonnenen Ergebnissen entstehen.

Kapitel 2

Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen beschrieben, auf denen Arbeit aufbaut. Zunächst wird auf die Herkunft und Anwendung Skalarparameter eingegangen, anschließend werden die verschiedenen, schon vorhandenen Visualisierungstechniken für die gleichzeitige Darstellung von zwei Skalarparametern vorgestellt.

2.1 Skalarparameter von Aneurysmen

Skalare sind reelle Zahlen [2], welche an jedem Punkt eines Raumes bestimmbar sind. Die Funktion, die diese Zuordnung im Raum beschreibt, ist ein Skalarfeld. In Blutgefäßen und somit auch in zerebralen Aneurysmen können verschiedene Skalarparameter gemessen werden. Diese können für die weitere Therapieplanung zur Behandlung eines zerebralen Aneurysmas herangezogen werden. Es können Parameter gemessen werden, die über die Zeit gleich bleiben oder sich mit der Zeit ändern. In diesem Projekt werden simulierte Flussdaten (CFD-Simulation) von zerebralen Aneurysmen verwendet. Bei dieser Simulation wird der Blutfluss modellbasiert abgeschätzt, was eine höhere Auflösung aber auch eine Ungenauigkeit basierend auf dem Model liefert im Vergleich zum Phasenkontrast MRT (PC-MRI) [21]. Die Skalarparameter enthalten die folgenden Größen: Deformation, Vergleichsspannung (engl. Von-Mises stress), Wandstärke, Wandschubspannung (engl. wall shear stress), Wanddruck.

Einige Parameter weisen Korrelationen auf oder führen in kombinierter Darstellung zu weiteren Erkenntnissen, weshalb eine gleichzeitige Darstellung von zwei Parametern für die Therapieplanung und weitere Entscheidungen wünschenswert ist.

Da die simulierten und auch gemessenen Daten der Aneurysmawand kontinuierlich sind, wird erwartet, dass die Skalarparameter eine Glattheitsannahme erfüllen, da es sich um eine organische Struktur handelt und abrupte Wertänderungen durch Messfehler, Rauschen oder bei künstlichen Strukturen auftreten. Das bedeutet, dass umliegende Bereiche um den Messpunkt ähnliche Werte aufweisen und keine abrupten Änderungen auftreten, bei denen Werteintervalle übersprungen werden. Dieser Fall wird als niedrige Ortsfrequenz bezeichnet. Die Schwierigkeit hierbei liegt in der Definition von *niedrig* oder *hoch* und ist abhängig von der Auflösung der Daten und den Werteabständen, die für die Beantwortung einer Nutzeraufgabe relevant sind. Auch wenn in den Aneurysmadaten lokal gesehen geringen Schwankungen unterliegen, besteht ein weiteres Problem bei der Verzerrung der 3D Oberfläche, auf der die Daten simuliert wurden, wenn diese 3D Messpunkte

auf eine 2D Oberfläche reduziert werden. Dabei werden insbesondere die Flächen nahe des Aneurysmadooms (am weitesten entfernter Punkt auf der Aneurysmaoberfläche vom Trägergefäß) stark verkleinert auf der 2D Oberfläche dargestellt. Dadurch werden lokale Unterschiede, die in der 3D Visualisierung geringer ausfallen, in der 2D Visualisierung als starke lokale Schwankung wahrgenommen. Deshalb ist bei der Visualisierung sowohl mit niedrig- als auch hochfrequenten Daten zu rechnen.

2.2 Parameterdarstellung

Die Darstellung der Parameter erfolgt in diesem Teamprojekt auf einer Aneurysmakarte. Dabei handelt es sich, wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, um eine 2D Oberfläche, auf welcher die 3D Raumpunkte des Aneurysmakörpers durch Projektion verzerrt dargestellt werden. Der Vorteil dieser Darstellungsform besteht darin, dass alle Bereiche auf einem Blick sichtbar sind und nicht verdeckt werden können. Somit sinkt das Risiko Daten von Interesse zu übersehen, denn die Nutzeraufgabe besteht darin, sich mit der Visualisierung zunächst einen Überblick über die Gesamtheit der Daten zu verschaffen.

Um quantitative Daten zu visualisieren, werden die Werte auf visuell wahrnehmbare Eigenschaften abgebildet. Bertin[4] beschreibt diese als visuelle Variablen, zu denen Orientierung, Größe, Form, Farbe, Textur, Helligkeit und Position gehören. Da die Werte an einen Ort und an eine Fläche gebunden sind, und die 2D Strukturen beliebig rotiert werden können, werden die Variablen Form und Drehung zur Visualisierung der Skalarparameterwerte ausgeschlossen.

Da ein Skalarparameter auf genau eine Variable abgebildet wird, wird zur Darstellung von zwei Skalarparametern eine Kombination aus mindestens zwei Variablen benötigt. Die Kombinationen führen zu verschiedenen Visualisierungstechniken, von denen nachfolgend eine Auswahl erläutert wird, die in diesem Teamprojekt evaluiert werden.

2.2.1 1D Farbskala

Die eindimensionale Farbskala besteht aus den visuellen Variablen Farbton und Helligkeit. Im Vergleich zu allen weiteren visuellen Variablen kann das gesunde menschliche Auge von dieser Variablen eine hohe Anzahl (etwa 200 verschiedene Farbtöne) wahrnehmen, unter Berücksichtigung von Helligkeit etwa 100.000 Farben [16]. Werden die Eigenschaften Farbton und Helligkeit geeignet kombiniert und so mehrere Farben erzeugt, lassen sich diese zu einer eindimensionalen Farbskala aneinanderreihen, deren Farben eine wahrgenommene Ordnung von höher zu niedriger repräsentieren. Nicht jede Farbskala ist für jede Aufgabe, die der Nutzer mithilfe der Visualisierung verfolgt, geeignet [3],[17]. Die Wahl der Farbskala ist jedoch nicht nur von der Nutzeraufgabe abhängig, sondern auch von den zugrundeliegenden Daten, wobei insbesondere die Ortsfrequenz, also die Frage nach einem häufigen, starken Wechsel der Werte in den Daten, von Bedeutung ist [3]. Diese Erkenntnis wird im Abschnitt 3.1.2 zur Erarbeitung der 2D Farbskala noch einmal aufgegriffen.

Aufgrund der hohen Anzahl an wahrnehmbaren Farben können die Daten bei der Diskretisierung in feinere Bereiche unterteilt werden, wodurch eine detailliertere Darstellung der Daten ermöglicht wird. Mithilfe von Farbe lassen sich außerdem beliebig geformte und beliebig große Flächen einfärben, wobei die Größe der Fläche durch das Auflösungs-

vermögen von Ausgabegerät und Auge begrenzt wird. Aufgrund dieser Eigenschaften wird mindestens einer der Skalarparameter stets auf eine 1D Farbskala abgebildet 2.2. Berücksichtigt werden sollte jedoch, dass der wahrgenommene Farbton von den ihn umgebenden farbigen Flächen beeinflusst wird [1].

2.2.2 Schachbrett

Aus der 1D Farbskala lässt sich eine Visualisierungstechnik ableiten, die jeden der beiden Skalarparameter auf eine eigene 1D Farbskala abbildet. Die Fläche wird in Rechtecke unterteilt, in denen abwechselnd nur einer der Skalarparameter angezeigt wird, sodass die Visualisierung einem Schachbrett ähnelt (vgl. Abb.2.1). In der Arbeit von Meuschke et al.[15] können Größe und Anzahl der Flächen durch den Nutzer bestimmt und jederzeit interaktiv verändert werden. Dabei wird einer der Skalarparameter auf eine Farbskala abgebildet, die von einem hellen Gelbgrün zu einem Dunkelgrün reicht, und der zweite Skalarparameter auf eine Farbskala, die von Hellblau nach Dunkelviolett verläuft [15]. Um eine hinreichende Unterscheidbarkeit zwischen den Farben zu erreichen, muss der Wertebereich je Skalarparameter diskretisiert werden. Dazu wird der Wertebereich in acht gleichgroße Bereiche unterteilt und den acht Farben der Farbskala zugeordnet (vgl. Abb.2.2).

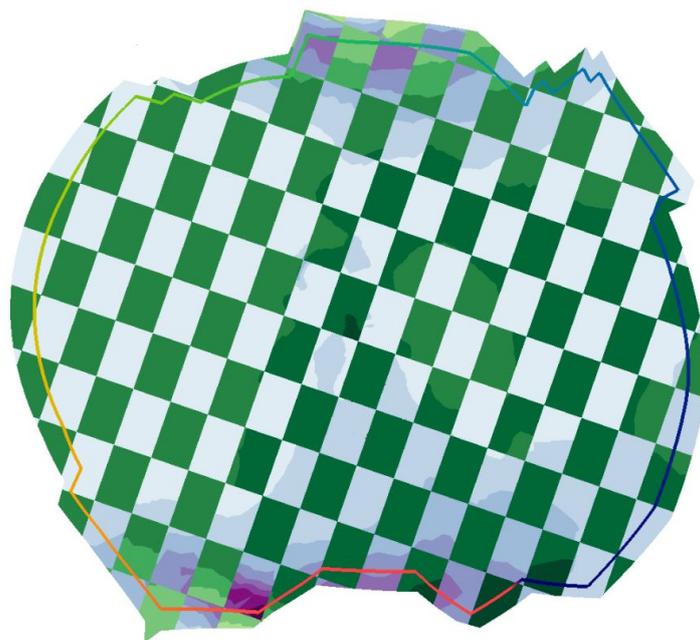


Abbildung 2.1: Das Schachbrettmuster zeigt abwechselnde Flächen, die jeweils einen Skalarparameter repräsentieren.

2.2.3 Image-based Hatching (Schraffur)

Das Image-based Hatching ist eine Schraffur, die aus regelmäßigen, parallel verlaufenden Linien besteht. In der Arbeit von Meuschke et al.[15] wird das Hatching im Bildraum berechnet, sodass keine Texturkoordinaten zur Darstellung benötigt werden. Das Hatching erzeugt auch doppelte, gitterartige Schraffuren und variiert die Liniendichte, um

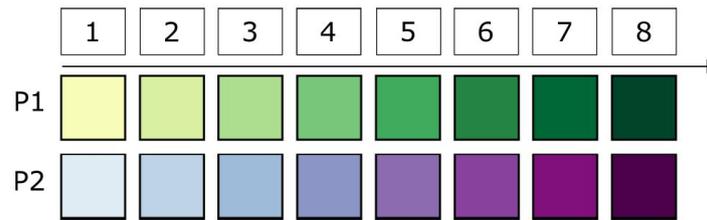


Abbildung 2.2: Jede 1D Farbskala repräsentiert die Werte eines einzelnen Skalarparameters (P1 oder P2).

verschiedene Schraffuren zu erzeugen. Desto dichter die Linien beieinander liegen, desto dunkler erscheint die Schraffur. Diese Eigenschaft wird ausgenutzt, um eine geordnete Skala aus Schraffuren zu erzeugen, auf welche die Daten abgebildet werden können. Da Texturen schwerer differenzierbar sind, wird eine Skala erzeugt, die nur fünf Wertebereiche abbilden kann, wobei der erste Wertebereich keine Schraffur zeigt, sondern leer bleibt. Wird einer der Skalarparameter auf Schraffur, und der andere Skalarparameter auf eine 1D Farbskala abgebildet, ergibt sich die Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur (vgl. Abb.2.3). In diesem Beispiel wird der Skalarparameter P1 auf eine 1D Farbskala abgebildet und der Skalarparameter P2 auf die Schraffur. Die Skalierbarkeit für die Farbskala (P1) ist auf acht Abstufungen begrenzt worden, um bei einem möglichst hohen Detailgrad dennoch eine gute Unterscheidbarkeit der Farben zu erzielen. Das Hatching ist auf vier, bei leicht veränderter Flächenunterteilung [15] höchstens fünf Wertebereiche begrenzt, da die Schraffur durch die Flächenunterteilung erzeugt wird und mit zunehmender Unterteilung die Auflösung nicht ausreicht, um das Hatching darzustellen. Im Anwendungsprogramm behält das Hatching seine Auflösung auch beim Vergrößern bzw. Verkleinern des Bildes bei, sodass die Skala für das Hatching nicht verändert dargestellt werden muss.

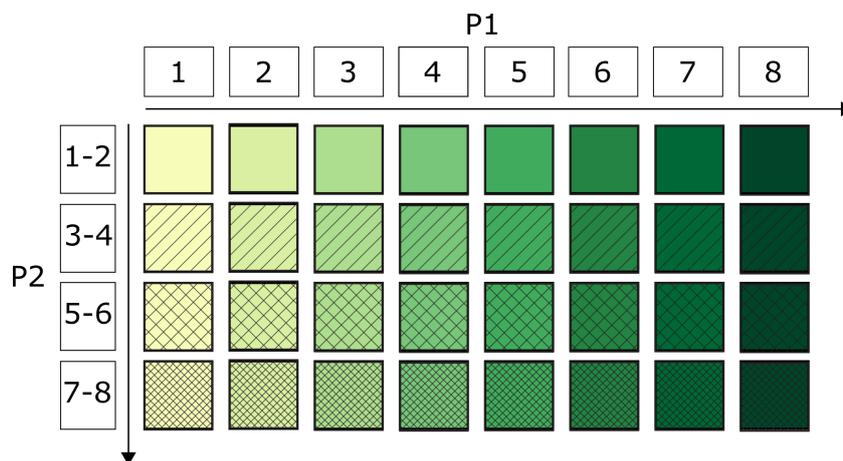


Abbildung 2.3: Kombination von Farbe und Schraffur in einer Matrix. Da P2 auf Hatching abgebildet wird, müssen Wertebereiche zusammengefasst werden.

2.2.4 Textur

Eine Textur beschreibt in der Computergrafik eine Oberflächenstruktur von Objekten. Beispielsweise kann die Textur abstrakte Formen zeigen oder Materialeigenschaften nachempfunden sein. Im Allgemeinen werden Texturen nur für die Darstellung kategorischer Daten empfohlen, da die beliebige Wahl eines Musters eine intuitiv wahrnehmbare Ordnung zwischen den Texturen erschwert. Da Texturen sehr komplex sein können, benötigen sie ausreichend Platz zur Darstellung. Andernfalls fällt es schwerer, die Textur selbst zu erkennen und diese von anderen Texturen zu unterscheiden. Trotz dieser Nachteile können Texturen schnell vom menschlichen Auge erkannt und unterschieden werden. Ob eine ordinale Ordnung wahrgenommen werden kann, ist abhängig von den gewählten Texturen [13], worauf im nachfolgenden Kapitel in Abschnitt 3.1.1 detaillierter eingegangen wird.

2.2.5 2D Farbskala

Die zweidimensionale Farbskala, auch unter dem Namen *bivariate choropleth maps* bekannt [11], kombiniert zwei Parameter. Dazu werden die Wertebereiche der Parameter auf jeweils eine 1D Farbskala abgebildet. Anschließend wird eine der Farbskalen um 90 Grad rotiert und mit der anderen überlappend dargestellt [23]. Wie in einer Tabelle gilt der abgetragene Wert zeilen- bzw. spaltenweise für den jeweiligen Parameterwert.

Bei der Wahl der 1D Farbskalen ist darauf zu achten, welche Eigenschaften die zugrundeliegenden Daten bezüglich ihrer Ortsfrequenz aufweisen und welche Aufgabe der Nutzer mit der Visualisierung erfüllen soll [3]. Beispielsweise könnte der Wertebereich eines einzelnen Skalarparameters auf einen der Farbkanäle Rot, Grün oder Blau mit 256 Helligkeitsabstufungen abgebildet werden [6]. Werden zwei Skalarparameter und somit zwei Farbkanäle dargestellt, erhält man ein Bild aus den Farbmischwerten. Stevens [23] stellt weitere 2D Farbskalen vor, die alle Farbkanäle des RGB-Farbraums nutzen [11].

Kapitel 3

Konzept zur zeitgleichen Darstellung von zwei Skalarparametern

Im folgenden Kapitel werden zuerst die weiterentwickelten Visualisierungstechniken erläutert und dann Hypothesen über die Wahrnehmung der Visualisierungstechniken aufgestellt.

3.1 Weitere Visualisierungstechniken

In diesem Abschnitt werden zwei Visualisierungstechniken erläutert, die auf die im Grundlagenkapitel vorgestellten Visualisierungstechniken aufbauen. Diese sind die Visualisierungstechniken Farbe und Kreis-Textur sowie die 2D Farbskala.

3.1.1 Farbe und Kreis-Textur

Trotz der Nachteile von Texturen, die im Abschnitt 2.2.4 beschrieben wurden, wird eine Visualisierungstechnik entwickelt, die mithilfe von Texturen Parameterwerte abbilden kann. Diese soll die Vorteile der schnellen Wahrnehmbarkeit und einer ordinal wahrnehmbaren Ordnung von Texturen ausnutzen und gleichzeitig den Einfluss der Nachteile so gering wie möglich halten. Es werden zwei Anforderungen an die Textur gestellt:

- Die Texturen folgen einem schematischen Zusammenhang, der mindestens eine ordinale Ordnung der Texturen erkennen lässt.
- Auch kleine Strukturen der Texturen müssen erkenn- und unterscheidbar sein.

Es wird angenommen, dass einfache geometrische Formen die Komplexität der Textur reduzieren und somit die Erkennbarkeit erhöhen. Der geforderte schematische Zusammenhang soll den Vorteil verschaffen, den Lernaufwand zum Verständnis der Texturen möglichst gering zu halten, sowie Verwechslungsgefahren und Fehlinterpretationen vorzubeugen. Um eine ordinale Ordnung in den Texturen zu finden, werden zunächst Muster betrachtet, die im Alltag zu beobachten sind.

Als erstes Beispiel dient die Assoziation mit der Anordnung von Würfelaugen auf einem sechsseitigen Spielwürfel. Die Augenzahlen entsprechen mindestens einer ordinalen Ordnung und sind zudem gut voneinander unterscheidbar. Dank der Assoziation mit einem Würfel können bis zu sieben Wertebereiche dargestellt werden, wenn wie bei der Schraffur (siehe Abschnitt 2.2.3) ein Wertebereich ohne Textur zugelassen wird.

Um die Flächen zu füllen, die dem gleichen Wertebereich des Skalarparameters entsprechen, wird ein Muster in einem regelmäßigen Raster mit quadratischen Zellen angeordnet (vgl. Abb.3.1).

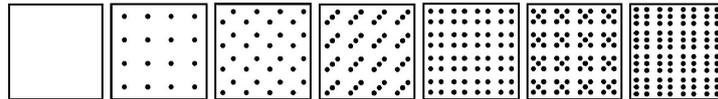


Abbildung 3.1: Textur durch Würfelaugen.

Für die zweite Textur besteht die Überlegung eine Ordnung der Texturen durch aufeinanderfolgende Ziffern kenntlich zu machen, anstatt diese von der Dichte der Textur abhängig zu machen. Durch den alltäglichen Umgang mit Zahlen wird erwartet, dass die Ziffern eine eindeutige Ordnung der Textur erzeugen. Zudem kann die Textur dadurch auf eine nominale Skala abgebildet werden. Die Ziffern des Musters beginnen bei *Eins*. Die höchste Ziffer sollte die *Acht* nicht überschreiten, da bei einer Rotation des Bildes eine Unterscheidung zwischen den Ziffern *Sechs* und *Neun* zu Verwechslungen führen kann.

Der Nachteil bei den Würfelaugen und Ziffern besteht darin, dass der Betrachter einen konkreten Wert mit dem Muster assoziiert, der nicht dem real zugrundeliegendem Wert oder Wertintervall entspricht. Zudem sehen sich manche Texturmuster wie beispielsweise *Sechs* und *Acht* sehr ähnlich (vgl. Abb.3.2). Um das Muster von konkreten Werten



Abbildung 3.2: Textur durch Ziffern.

zu lösen, werden weitere, einfache geometrische Strukturen kombiniert. Eine Textur mit ordinaler Ordnung wird zum Beispiel erzeugt, wenn Striche mit unterschiedlicher Ausrichtung übereinandergelegt werden. Diese Darstellungsform wurde zur Unterscheidung von Bereichen verwendet, bevor eine vollflächige, bunte Darstellung ermöglicht wurde. Das Muster lässt sich entsprechend seiner Komplexität und zunehmender Dunkelheit ordnen, beispielsweise von einem (horizontalen) Strich, zu einem Pluszeichen, zu einem Sternchen (Asterisk). Nachteilig ist die geringe Anzahl an Icons, die mit zunehmender Anzahl an Strichen schwerer voneinander unterscheidbar sind.

Geometrische Formen wie Dreieck, Viereck, Fünfeck usw. können ebenfalls anhand der Anzahl ihrer Ecken geordnet werden. Eine Idee wäre, die Ecken durch Überlappung geometrischer Formen zu erzeugen. Beispielsweise in der Ordnung eines Dreiecks, eines Vierecks, eines sechszackigen (zwei Dreiecke) und eines achtzackigen Sterns (zwei Quadrate, vgl. Abb.3.3). Problematisch ist hierbei ebenfalls, dass die Formen schlechter unterscheidbar sind, desto mehr Ecken sie besitzen, wodurch nur wenige Wertebereiche

abgebildet werden können. Durch die Hinzunahme einer Kreisform könnte der Wertebereich um eins erweitert werden. Allerdings wäre unklar, ob der Kreis den höchsten oder niedrigsten Wert anzeigt. Denn einerseits besitzt er keine Ecken und wäre somit als niedrigstes Symbol zu verstehen, andererseits könnte er durch eine unendlich hohe Anzahl kombinierter Formen erzeugt worden sein und damit den höchsten Wert repräsentieren (vgl. Abb.3.3).

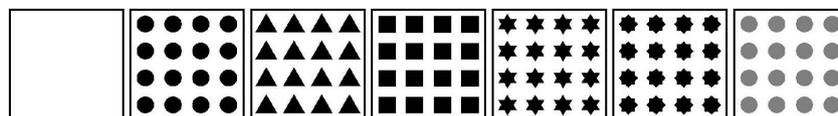


Abbildung 3.3: Textur durch Überlagerung Formen.

Zuletzt besteht die Überlegung, eine einzige geometrische Form mehrmals zu kombinieren. Hierfür wird ein leerer Kreis ausgewählt, ähnlich zu den gefüllten Würfelaugen. Allerdings werden die Kreise nicht wie die Augen eines Würfels angeordnet, sondern leicht überlappend gezeichnet, ähnlich den Olympischen Ringen (vgl. Abb.3.4). Für die Nutzerstudie wird die Kreis-Textur ausgewählt, da zwischen den Texturen eine geringere Verwechslungsgefahr und eindeutig wahrnehmbare Ordnung vermutet wird als zwischen den zuvor vorgestellten Texturen.

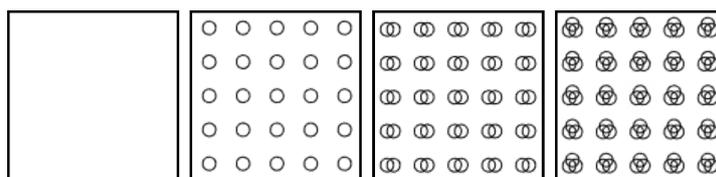


Abbildung 3.4: Textur durch Überlagerung von Kreisen.

3.1.2 2D Farbskala

Mithilfe der 2D Farbskala sollen zwei Skalarparameter durch einen gemeinsamen Farbwert repräsentiert werden. Dabei ist es nötig, alle Wertkombinationen der Skalarparameter mit einem eindeutigen Farblabel zu kennzeichnen, sodass vom Farblabel ein eindeutiger Rückschluss auf die Ausgangswerte der Parameter möglich ist. Problematisch dabei ist die hohe Anzahl der Farben, die benötigt wird, um eine einzigartige Zuordnung zu ermöglichen, da diese für die menschliche Wahrnehmung gut unterscheidbar sein müssen. Zusätzlich soll berücksichtigt werden, dass innerhalb eines Skalarparameters der Wertebereich einer numerischen und damit geordneten Skala entspricht.

Um einen solchen geordneten Zusammenhang abzubilden bietet es sich an, ähnliche Farben in geeigneter Abstufung zu verwenden, ähnlich zur 1D Farbskala. Die Abstufungen werden durch Farbpinterpolation erzielt, die in verschiedenen Farbräumen vorgenommen werden kann.

Initialisierung der 2D Farbskala

Zuerst wird der gesamte Wertebereich von Skalarparameter 1 aufsteigend entlang der Spalten abgetragen, der Wertebereich von Skalarparameter 2 aufsteigend entlang der

Zeilen (vgl. Abb.3.5). Beide Parameter beginnen im gleichen Ursprung, der oberen linken Matrixzelle. Somit steht die kleinstmögliche Wertekombination beider Parameter in der Matrixzelle oben links, und die Kombination der höchsten Werte in der Zelle unten rechts. Die Matrix wird symmetrisch aufgebaut, die Wertebereiche werden normiert und durch Diskretisierung in gleich viele und gleich große Wertebereiche unterteilt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da der Nutzer zunächst die Aufgabe hat, sich einen Überblick über die Daten zu verschaffen. Durch die gleichgroße Einteilung der Intervalle wird keiner der Wertebereiche bevorzugt oder benachteiligt dargestellt.

Anschließend wird die Matrix mit Farben gefüllt, um eine 2D Farbskala zu erhalten. Dabei wird wie folgt vorgegangen (vgl. Abb.3.6):

1. Die Zelle im Ursprung erhält die Farbe Schwarz, welche für besonders niedrige Werte von P1 und P2 steht.
2. Die Zelle oben rechts erhält einen stark gesättigten Farbton, der für besonders hohe Werte von P1 aber niedrige Werte von P2 steht (z.B. Rot), die Zelle unten links erhält einen stark gesättigten Farbton, der für besonders hohe Werte von P2 aber niedrige Werte von P1 steht (z.B. Blau).
3. Die erste Zeile bzw. erste Spalte werden durch Farbinterpolation zwischen den drei festgelegten Farben gefüllt. Die erste Spalte und erste Zeile werden im Nachfolgenden als Hauptfarbskala von P1 und Hauptfarbskala von P2 bezeichnet, da der Einfluss des jeweils anderen Parameters verschwindend gering ist.
4. Die verbleibenden Zellen werden abhängig vom gewählten Farbinterpolationsmodell und Farbskalentyp gefüllt.

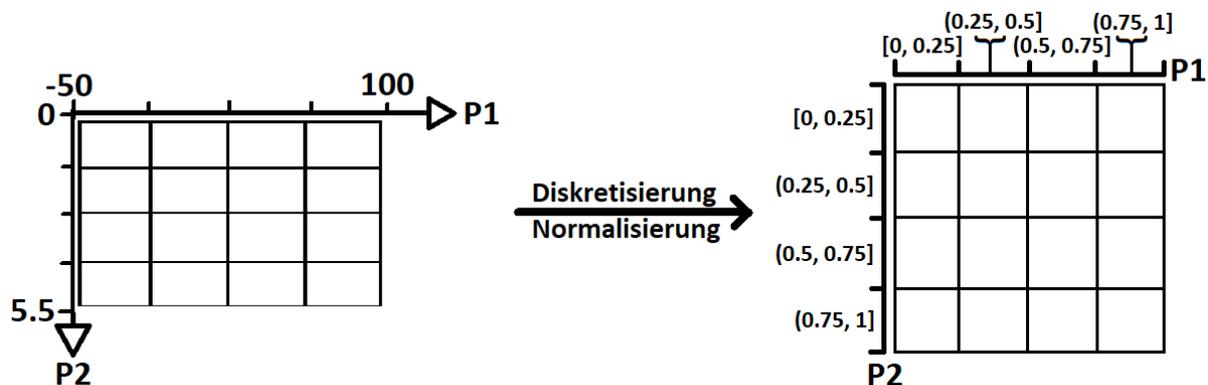


Abbildung 3.5: Initialisierung der 2D Farbskala. Links: Abtragen der Wertebereiche von Skalarparameter P1 und P2 entlang der Zeilen und Spalten der 2D Farbskala. Rechts: Nach der Diskretisierung normalisierte Wertebereiche der Skalarparameter P1 und P2.

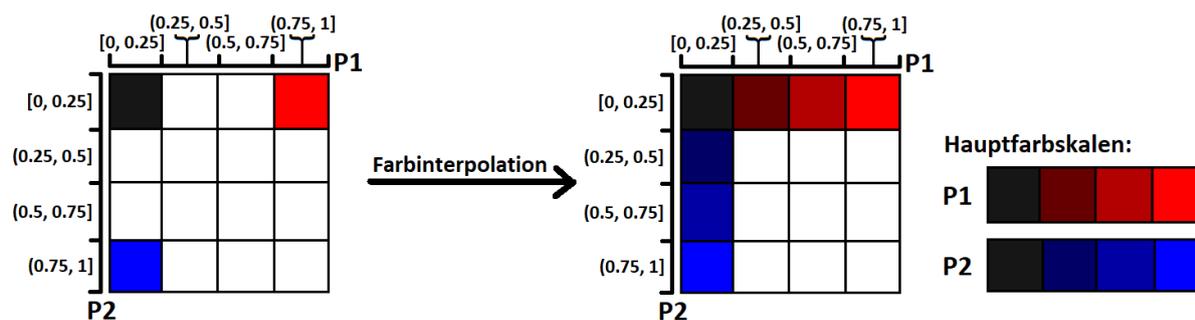


Abbildung 3.6: Farbbelegung der 2D Farbskala. Links: Initiale Farben für niedrigste Wertekombination (schwarz) und höchsten Wert für Skalarparameter P1 (rot) oder P2 (blau). Rechts: Füllen der Hauptfarbskalen durch Farbinterpolation zwischen schwarz und blau oder schwarz und rot.

Farbinterpolationsmodelle und Farbskalentypen

Farbinterpolation kann in verschiedenen Farbräumen vorgenommen werden. Die Farbräume repräsentieren Farben durch unterschiedliche Attribute. Im Nachfolgenden werden die Farbräume RGB, HSL und (CIE)LCH bezüglich ihrer verschiedenen Attribute und den daraus resultierenden Konsequenzen für die Farbwahrnehmung kurz erläutert, um die Wahl des Farbinterpolationsmodell für die verwendete 2D Farbskala in diesem Teamprojekt nachvollziehbar darzustellen.

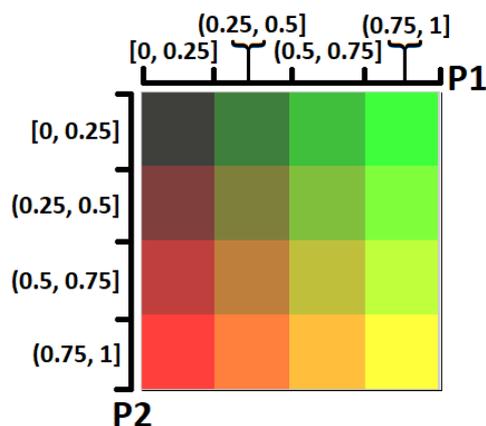


Abbildung 3.7: Bei der RGB-Interpolation zwischen der höchsten Rot- und Grünintensität (Felder unten links und oben rechts) entsteht die Farbe Gelb (Feld unten rechts). Bei der subtraktiven (physikalischen) Farbmischung würde ein hellbrauner Farbton entstehen.

Der RGB-Farbraum ist ein technischer Farbraum, der sich an die additive Farberzeugung von Bildschirmen und anderen visuellen technischen Ausgabegeräten orientiert [14]. Die Farbe setzt sich aus den drei Elementen Rot, Grün und Blau im jeweiligen Wertebereich [0,255] zusammen. Der RGB-Farbraum hat den Nachteil, dass lineare Zusammenhänge zwischen den Komponenten von der menschlichen Wahrnehmung nicht als linear zusammenhängende Farbvariationen wahrgenommen werden. Bei der Interpolation zwischen den Komponenten entstehen häufig Farben aus anderen Farbtongruppen und schwer nachvollziehbare Diskrepanzen in der Helligkeit der Farbtöne (vgl. Abb.3.7).

Da der 2D Farbskala Werteintervalle zugrunde liegen, die eine numerische Ordnung aufweisen, die Interpolation im RGB-Farbraum aber schwer nachvollziehbare Farbergebnisse erzeugt, wird von der Farbinterpolation im RGB-Farbraum in diesem Projekt abgesehen. Der HSL-Farbraum ist technisch-basiert und dient dazu, den RGB-Farbraum durch besser nachvollziehbare Komponenten zu repräsentieren, welche die Farbe erzeugen [14]. Diese Komponenten sind Farbton (*hue*), Sättigung (*saturation*) und Helligkeit (*lightness*). Die Farben sind auf einem Kreis angeordnet (Intervall $[0,360]$), die Sättigung der Farbe parallel zur Kreisfläche (Intervall $[0,100]$) und die Helligkeit orthogonal dazu (Intervall $[0,100]$). Eine Interpolation zwischen den Komponenten erleichtert das Verständnis, wie Farbton, Helligkeit und Sättigung der Farbe zustande kommen, allerdings werden lineare Zusammenhänge nicht als linear zusammenhängend vom Auge wahrgenommen.

Der (CIE)LCH-Farbraum besteht aus den Komponenten Helligkeit (*lightness*), Farbsättigung (*chroma*) und Farbton (*hue*) [14]. Die Anordnung der Farben hat die Besonderheit, dass sich die Farben Blau und Gelb sowie Rot und Grün gegenüberliegen. Eine Interpolation zwischen Rot und Grün verläuft entweder über Blau oder über Gelb. Dieser Farbraum ist wahrnehmungsbasiert, das bedeutet, dass lineare Abstände zwischen den Farbattributen auch als linear zusammenhängend wahrgenommen werden.

Zur Ausgabe der Farbe auf einem Bildschirm muss der Farbwert in einen RGB-Wert umgewandelt werden, unabhängig davon, in welchem Farbraum diese Farbe repräsentiert wird. Bildschirme bzw. RGB-Farbwerte können nur einen kleinen Teil der tatsächlich wahrnehmbaren Farben durch das menschliche Auge darstellen, weshalb eine Konvertierung von LCH-Farbwerte nach RGB-Farbwerten zu nicht darstellbaren Farben führen kann. Dies ist einer der Gründe, die für die Verwendung der Farbinterpolation im **HSL-Farbraum** in diesem Teamprojekt sprechen.

Ein weiterer Grund ergibt sich aus der Nutzeraufgabe und den zugrundeliegenden Daten, die ausschlaggebend für die gesuchte Farbskala [3] und damit dem zugrundeliegenden Farbraum sind. Zum einen erfordert die Nutzeraufgabe (das Verschaffen eines Überblicks) eine gleichförmige Darstellung der Daten, zum anderen sind die Daten gemischt hoch- und niedrigfrequent (vgl. Abschnitt 2.1). Auch in der Arbeit von Bergman et al. [3] wird eine divergente 1D Farbskala mithilfe linearer Interpolation im HSL-Farbraum erzeugt, um möglichst gleichgroß wahrgenommenen Farbabständen zu erzeugen.

Die numerische Ordnung der Werteintervalle, die der 2D Farbskala bei Interpolation im HSL-Farbraum zugrunde liegen, wird nur durch eine ordinale Ordnung repräsentiert. Die Ordnung ist nur ordinal, da die linearen Zusammenhänge der HSL-Komponenten nicht als linear zusammenhängend wahrgenommen werden, aber dennoch eine wahrnehmbare und nachvollziehbare Ordnung der Farben durch die Farbinterpolation erzeugt wird. Auf eine numerische Skala kann verzichtet werden, da sich der Nutzer mithilfe der Visualisierung zunächst ein Überblick verschaffen soll, für Details aber eine Repräsentation durch einen Messwert genauer als eine Farbzurordnung ist.

Unabhängig vom Farbinterpolationsmodell bleibt das Problem bestehen, dass das Ausgabegerät (Bildschirm) die Farben verfälscht darstellen kann, wenn dieser nicht kalibriert wurde. Um das Risiko schlecht unterscheidbarer Farben aufgrund des Ausgabegeräts zu verringern, wird die 2D Farbskala auf eine Größe von 4×4 Farben beschränkt.

Um die finale 2D Farbskala zu erzeugen, werden die verbliebenen leeren Felder ausgehend von der Initialisierung der 2D Farbskala durch lineare Farbinterpolation im HSL-Farbraum gefüllt. Das bedeutet, dass die lineare Interpolation für **jede** Komponente (*hue*, *saturation*, *lightness*) separat durchgeführt wird, wobei die Gesamtheit der Kom-

ponenten wiederum den Farbwert ergeben. Ursprünglich wurden dazu sequentielle 1D Farbskalen zwischen den Hauptfarbskalen erzeugt. Bei einer sequentiellen 1D Farbskala werden Mischwerte zwischen **zwei** Farben gebildet. Da bei dieser ersten Variante zwischen den beiden Hauptfarbskalen interpoliert wird (vgl. Abb.3.8, obere Zeile), wird in diesem Projekt diese Variante als sequentielle 2D Farbskala bezeichnet. Die Interpolation erfolgt in Abhängigkeit vom gewählten Farbinterpolationsmodell und der Manhattan-Distanz (Schachbrettdistanz) zwischen den beiden Feldern der Hauptfarbskalen. Die Farbe für das Feld $f_{1,1}$ wird beispielsweise durch die Kombination der Farbwerte der Felder $f_{1,0}$ und $f_{0,1}$ wie folgt erzeugt (vgl. auch Abb. 3.8, obere Zeile):

$$f_{1,1} = (1 - t) \cdot f_{1,0} + t \cdot f_{0,1} \text{ mit } t = \frac{1}{2}$$

Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass nur wenige, kaum unterscheidbare Farbtöne erzeugt werden, weshalb mit zunehmender Größe der 2D Farbskala die Farben schwerer voneinander unterscheidbar sind (vgl. Abb.3.8), obere Zeile). Um dem entgegen zu wirken, wird zum einen die Größe der 2D Farbskala auf 4×4 Felder beschränkt. Zum anderen wird ein weiterer, künstlicher Zusammenhang zwischen den Daten eingeführt und auf eine dritte Farbskala abgebildet. Dazu wird der unteren rechten Zelle die Farbe Weiß zugeteilt und zwischen Schwarz und Weiß interpoliert und die Farben entlang der Diagonale abgetragen, wodurch eine Grauwertskala entsteht (vgl. Abb.3.8, untere Zeile). Die erzeugten Graustufen stehen nun dafür, dass sich die Skalarparameter 1 und 2 das gleiche **normierte** Werteintervall teilen. Alle fehlenden Farben oberhalb der Diagonale werden zwischen der roten Hauptfarbskala und der Grauwertskala interpoliert, alle unterhalb der Diagonale zwischen der blauen Hauptfarbskala und der Grauwertskala. Die Farbe für das Feld $f_{2,1}$ wird beispielsweise durch die Kombination der Farbwerte der Felder $f_{2,0}$ und $f_{2,2}$ wie folgt erzeugt (vgl. auch Abb.3.8, untere Zeile):

$$f_{2,1} = (1 - t) \cdot f_{2,0} + t \cdot f_{2,2} \text{ mit } t = \frac{1}{2}$$

Diese 2D Farbskala ähnelt einer divergenten 1D Farbskala (vgl. Abb. 3.9), und wird in diesem Projekt daher als divergente 2D Farbskala bezeichnet.

Die endgültige 2D Farbskala ist in Abbildung 3.10) zu sehen. Sie wurde so angepasst, dass das schwarze Feld in der oberen linken Ecke leicht aufgehellt, und das weiße Feld in der unteren rechten Ecke leicht abgedunkelt wurde. Grund dafür ist, dass schwarz häufig für Umrisslinien, andere grafische Elemente oder Schrift verwendet wird und in späteren 3D Anwendungsfällen keine Schattierungen mehr ermöglicht. Ähnliches gilt für Weiß, das zudem auch oft Teil des Hintergrundes ist.

3.2 Hypothesen

Ziel der Arbeit ist der Erkenntnisgewinn darüber, welche der vorgestellten Visualisierungstechniken am besten geeignet ist, um zeitabhängige und zeitunabhängige Skalarparameter darzustellen. Geeignet bedeutet, dass zum Einen die Parameterwerte korrekt erkannt werden, d.h. im Idealfall keine Fehler gemacht werden und zum Anderen die Darstellung für den Nutzer leicht verständlich ist. Die nachfolgenden Hypothesen betrachten die Visualisierungstechniken im Vergleich miteinander. Zur Überprüfung der

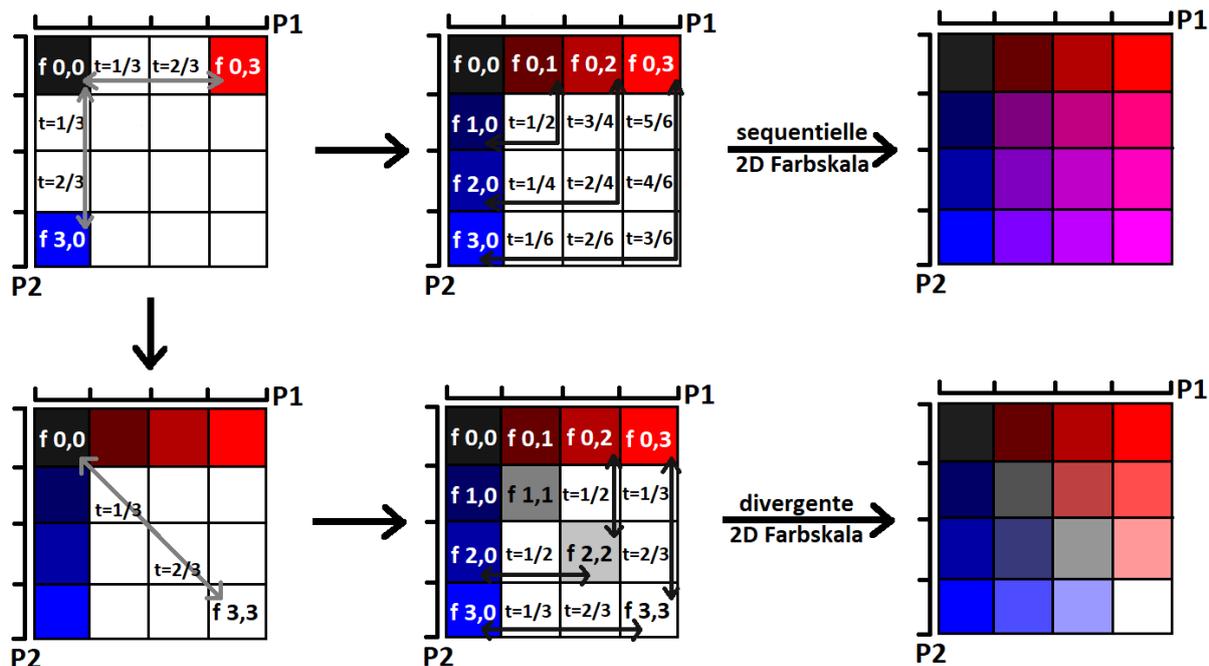


Abbildung 3.8: Gegenüberstellung der sequentiellen 2D Farbskala (oben) und der divergenten 2D Farbskala (unten). Ein f beschreibt Position und Wert in der 2D Farbskala-Matrix, t beschreibt das Interpolationsgewicht. Die Pfeile innerhalb der 2D Farbskalen zeigen, entlang welcher Pfade die Interpolation erfolgt.

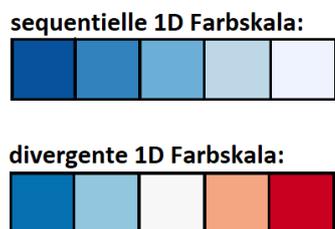


Abbildung 3.9: Gegenüberstellung der sequentiellen und divergenten 1D Farbskala.

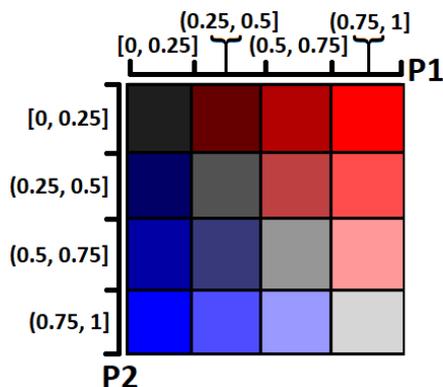


Abbildung 3.10: Endgültige 2D Farbskala.

Hypothesen werden die Visualisierungstechniken hinsichtlich quantitativer und qualitativer Merkmale untersucht.

H1: Dem Nutzer fällt das Ablesen der Werte mit der Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur leichter als mit anderen Visualisierungstechniken.

Das bedeutet, dass der Nutzer weniger Fehler mit dieser Visualisierungstechnik machen wird, als mit anderen Visualisierungstechniken. Es wird vermutet, dass Farbe und Schraffur durch die Kombination zweier visueller Variablen das Ablesen der Skalarparameter erleichtert, da diese zwar am gleichen Ort dargestellt werden, aber getrennt voneinander

abgelesen werden können. Schraffur wird der Textur vorgezogen, weil vermutet wird, dass der Zusammenhang zwischen einem Parameterwert, der sich erhöht, und der Struktur, die sich verdichtet, leichter nachvollziehbar ist, als Texturelemente, die ihre Erscheinung in unvorhersehbarer Weise durch Zunahme von Teilelementen verändert. Konkret ist gemeint, dass der Nutzer aufgrund von Alltagserfahrungen eine bessere Vorstellung davon hat, wie sich das Erscheinungsbild bei zunehmendem Hatching (Schraffieren) ändert. Dagegen können die Kreistextur-Elemente auf verschiedene Weise angeordnet werden und ändern so ihr Aussehen, und je nach erwartetem und tatsächlichem Gesamterscheinungsbild der Textur könnte es zu Fehlinterpretationen durch den Nutzer kommen.

H2: Der Nutzer macht mit der Visualisierungstechnik 2D Farbskala am häufigsten (signifikant mehr) Fehler.

Es wird vermutet, dass die 2D Farbskala aufgrund der vielen ähnlichen Farben und der ungewohnten Art und Weise, die Werte abzulesen, eine Verwechslung der Farbtöne begünstigt, wodurch vermehrt Fehler gemacht werden.

H3: Der Nutzer bevorzugt die Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur gegenüber anderen Techniken.

Die Visualisierungstechnik wird sowohl in der qualitativen Einschätzung als auch in der vom Nutzer vorgenommenen Rangfolge bessere Ergebnisse erzielen als andere Visualisierungstechniken. Auch hier gilt die Vermutung, dass Farbe und Schraffur sowohl leicht verständlich ist, als auch leicht abzulesen, aufgrund der bereits unter Hypothese 1 aufgeführten Vorteile dieser Visualisierungstechnik.

H4: Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen.

Es wird erwartet, dass mit ein und derselben Visualisierungstechnik sowohl bei zeitunabhängiger als auch zeitabhängiger Anzeige der Daten die relative Häufigkeit Fehler zu machen gleich bleibt. Dazu muss zuvor eine Erkenntnis darüber erlangt werden, ob die Fehlerrate getrennt für zeitunabhängige und zeitabhängige Daten einen signifikanten Unterschied zwischen den Visualisierungstechniken aufweist. Ist dies der Fall, können die Visualisierungstechniken separat für zeitunabhängige und zeitabhängige Daten anhand ihrer relative Fehlerrate sortiert werden. Ist diese Sortierung (im Nachfolgenden auch als Ranking bezeichnet) für zeitunabhängige und zeitabhängige Daten gleich, ist die Hypothese erfüllt.

Abbildung 3.11 zeigt eine Schätzung des Rankings für alle Visualisierungstechniken. Von Bedeutung für Hypothese H4 ist die erste Zeile, die alle Einträge bezüglich der Korrektheit (quantitativ geringe Fehlerrate) enthält.

H5: Der Nutzer fühlt sich mit der Visualisierungstechnik am wohlsten, mit der die wenigsten Fehler gemacht werden.

Mit dieser Hypothese wird vermutet, dass der Nutzer die Visualisierungstechnik, mit der die wenigsten Fehler gemacht wurden, auch als beste Technik empfindet. Insbesondere

sollte sich der Nutzer mit dieser Visualisierungstechnik am sichersten fühlen, diese als leicht verständlich wahrnehmen und eine geringere Schwierigkeit bei der Bearbeitung von Aufgaben mit der Technik empfinden. Die Hypothese ist insbesondere dann erfüllt, wenn signifikante Unterschiede zwischen den Techniken sowohl für quantitative als auch qualitative Merkmale festgestellt werden können und das dadurch erhobene Ranking in Korrektheit und Wohlbefinden übereinstimmt (vgl. Abb. 3.11).

	Zeitunabhängig				Zeitabhängig			
	Schachbrett	Farbe & Schraffur	2D Farbskala	Farbe & Kreis-Textur	Schachbrett	Farbe & Schraffur	2D Farbskala	Farbe & Kreis-Textur
Korrektheit	4	1	3	2	4	1	3	2
Wohlbefinden	4	1	3	2	4	1	3	2

Abbildung 3.11: Geschätzte Rangfolge der Visualisierungstechniken.

Kapitel 4

Nutzerstudie

Mithilfe der Studie werden die Visualisierungstechniken hinsichtlich ihre Stärken und Schwächen in der 2D Darstellung einer Aneurysmenkarte untersucht und verglichen. Da die Wahrnehmung dieser Eigenschaften individuellen Schwankungen zwischen Personen unterliegt, sollen möglichst viele Probanden an der Nutzerstudie teilnehmen. Durch die Erhöhung des Stichprobenumfangs erhalten die Ergebnisse eine größere Aussagekraft. Um die in Abschnitt 3.2 aufgestellten Hypothesen zu überprüfen werden Fragen formuliert, welche die Teilnehmer der Nutzerstudie nur unter Zuhilfenahme der Visualisierungstechniken beantworten sollen. Da die Ergebnisse ausschließlich von der Wahrnehmung, die durch die Visualisierungstechniken erzeugt wird, abhängen sollen, müssen Fehler vermieden werden, die durch fehlendes Expertenwissen verursacht werden könnten. Deshalb werden die Fragestellungen so formuliert, dass der Nutzer zur Beantwortung kein zusätzliches Wissen über die medizinische Hintergrundmotivation oder tangierenden Themen benötigt. Die Fragen werden für die Beantwortung der Hypothesen aufgestellt. Da die Hypothesen verschiedene Eigenschaften oder Aspekte der Visualisierungstechniken abfragen, werden verschiedene Fragen benötigt, um die Hypothesen zu überprüfen. Um eine Hypothese zu prüfen, wird mindestens eine Frage benötigt. Zudem müssen geeignete Beispielbilder und -videos ausgewählt werden. Dabei wird darauf geachtet, dass die Beispiele nicht zu einfach oder zu schwer sind. Zu einfach ist ein Beispiel, wenn von einem Skalarparameter in geordneter Reihenfolge alle Wertebereiche dargestellt sind oder zu schwer, wenn viele verschiedene Wertebereiche auf kleinstem Raum dargestellt werden. Um die gegebenen Antworten vergleichbar zu machen, müssen auf gleichen Beispieldatensätzen identische Positionen und Zeitpunkte (bzw. Zeitspannen für zeitabhängige Beispiele) markiert werden, an denen der Nutzer die Werte ablesen soll. Bei der Auswahl der Beispiele der zeitabhängigen Daten wurde darauf geachtet, dass sich beide Skalarparameter nicht zu oft ändern oder zu schnell ändern, sodass der Proband die Änderung wahrnehmen kann und Frustration vermieden wird.

Die Hypothesen H2 (Der Nutzer macht mit der Visualisierungstechnik 2D Farbskala am häufigsten [signifikant mehr] Fehler.), H4 (Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen) und H5 (Der Nutzer fühlt sich mit der Visualisierungstechnik am wohlsten, mit der die wenigsten Fehler gemacht werden.) beziehen sich auf die Häufigkeit der Fehler, die ein Nutzer mit einer Visualisierungstechnik macht. Dazu muss der Proband anhand von Beispielen für alle Visualisierungstechniken eine der folgenden Fragen beantworten:

1. Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an der Position des Rechtecks an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an der Position des Rechtecks an?
2. Nimmt der Skalarparameter P1 den Wert 1 und nimmt der Skalarparameter P2 den Wert 3 an der Position des Rechtecks an?
3. Tritt die Skalarparameterkombination P1, P2 mit den Werten 4, 2 auf?
4. Ist der Wert von Skalarparameter P1 an der Position des Rechtecks höher, niedriger oder gleich dem Wert von Skalarparameter P2?

Da es für einen Probanden zu viel Zeit kosten würde, alle vier quantitativen Fragen zu beantworten, beantwortet jeder Proband nur eine der Fragen für alle vier Visualisierungstechniken. Um eine höhere Varianz der quantitativen Daten zu bekommen, werden pro Visualisierungstechnik zwei zeitunabhängige und zwei zeitabhängig Beispiele gezeigt und für jedes Beispiel die zugehörige quantitative Frage beantwortet. Mehr als vier Beispiele pro Technik werden nicht gezeigt, da es für den Probanden zu ermüdend ist.

Um die Hypothesen H1, H3, H4 und H5 zu testen, werden zusätzlich zu den quantitativen Fragen noch qualitativen Fragen gestellt. Als Antwortmöglichkeiten stehen jeweils zwei gegensätzlichen Adjektive zur Verfügung, die auf einer fünf Punkt-Likert-Skala beantwortet werden können.

Die Hypothese H5 wird mit den folgenden Fragen getestet:

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

Antworten: sehr unsicher; unsicher; sehr sicher; sicher; mittel

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

Antworten: sehr kompliziert; kompliziert; mittel; verständlich; sehr verständlich

Die Hypothesen H1, H5 wird mit der folgenden Frage getestet:

Frage: Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

Antworten: sehr schwer; schwer; sehr leicht; leicht; mittel

Um die vom Probanden individuelle Rangfolge der Visualisierungstechniken herauszufinden, wird der Proband zusätzlich zu den Fragen noch nach seiner individuellen Rangfolge für die Visualisierungstechniken gefragt. Dabei wird die Rangfolge für zeitunabhängige und zeitabhängige Visualisierungen unterschieden. Die Frage nach der Rangfolge ist in Abbildung 4.1 zu sehen.

Den Probanden wird für die Beantwortung der Fragen ein Fragebogen in Papierform gegeben. Alle vier Fragebögen sind im Anhang A zu finden. Auf diesen Fragebögen ist für alle vier Beispiele je Visualisierungstechnik die selbe quantitative Frage zu finden. Nach jeder Visualisierungstechnik kommen die qualitativen Fragen. Nach allen Fragen für die vier Visualisierungstechniken kommt die Frage nach der Rangfolge und der Proband hat

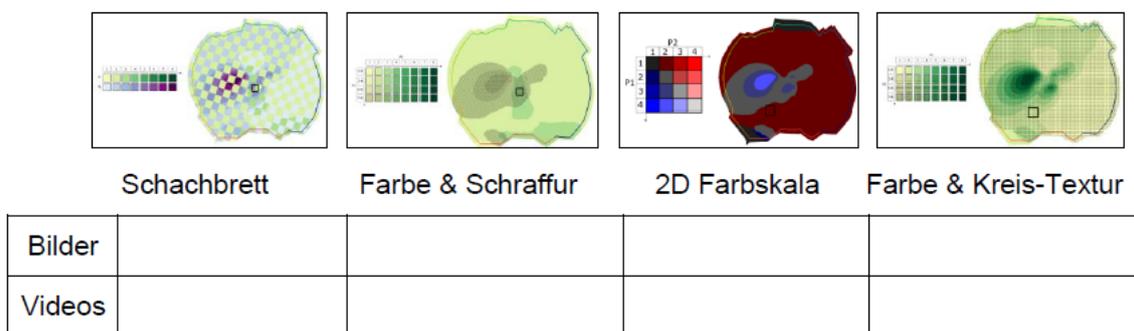


Abbildung 4.1: Einschätzung der Beliebtheit/Rangfolge durch den Nutzer/Probanden

danach die Möglichkeit weitere Anmerkungen zu geben. Zuletzt werden die Metadaten des Probanden über Fragen erfasst. Dies scheint unüblich für eine Nutzerstudie zu sein, ist aber für diese Nutzerstudie sinnvoll gewesen. Die meisten Probanden hatten keinen Informatik Hintergrund und wären mit der Frage nach der Erfahrung mit der computergestützten Auswertung von Skalarparametern vielleicht verunsichert worden im Test falsche Antworten zu geben. Die Metadaten umfassen das Alter, das Geschlecht, den Beruf, den Grad der Erfahrung mit computergestützter Auswertung von Skalarparametern und, ob der Proband eine Farbsehschwäche und wenn ja, welche Farbsehschwäche dieser hat.

Die zu beantwortenden Beispiele sind in einer Präsentation abgebildet und können im Anhang B betrachtet werden. Vor jeder Visualisierungstechnik kommt eine Tutorial-Folie für die Visualisierungstechnik. Auf dieser wird die Technik gezeigt und die zu beantwortende Frage für diese Technik ist richtig beantwortet dargestellt. Für die Visualisierungstechnik Schachbrett sind alle vier Tutorial-Folien in Abbildung 4.2 zu sehen. Um den Einfluss der Reihenfolge der Repräsentation der Visualisierungstechniken auf die Ergebnisse der Studie zu minimieren, wird die Reihenfolge getauscht, in der die Visualisierungstechniken evaluiert werden.

4.1 Durchführung

Die Nutzerstudie wurde im Rahmen der *13. Langen Nacht der Wissenschaft* in Magdeburg in einem Raum der Fakultät für Informatik durchgeführt. Für die Nutzerstudie standen zwei Rechner mit 19 Zoll mit der Auflösung 1920×1080 Monitoren zur Verfügung. An diesen konnte jeweils ein Proband die Nutzerstudie durchführen. Als erstes wurde die zum Fragebogen passende Bildschirmpräsentation gestartet und mithilfe einer Einführungsfolie dem Probanden erklärt, was Skalarparameter sind. Als nächstes wurde die erste Visualisierungstechnik mithilfe der Tutorial-Folie dem Probanden vorgestellt. Nachdem sich der Proband mit der Technik vertraut gemacht hat, konnte er die vier zur Visualisierungstechnik gehörenden Beispiele selbstständig durchgehen und die Frage zum Beispiel beantworten. Wenn der Proband mit den vier Beispielen fertig war, hat der Versuchsleiter die nächste Visualisierungstechnik mithilfe einer Tutorial-Folie erklärt und der Proband konnte die vier Beispiele zu dieser Technik beantworten. Nach der Beantwortung aller Fragen zu allen Visualisierungstechniken und den dazugehörigen

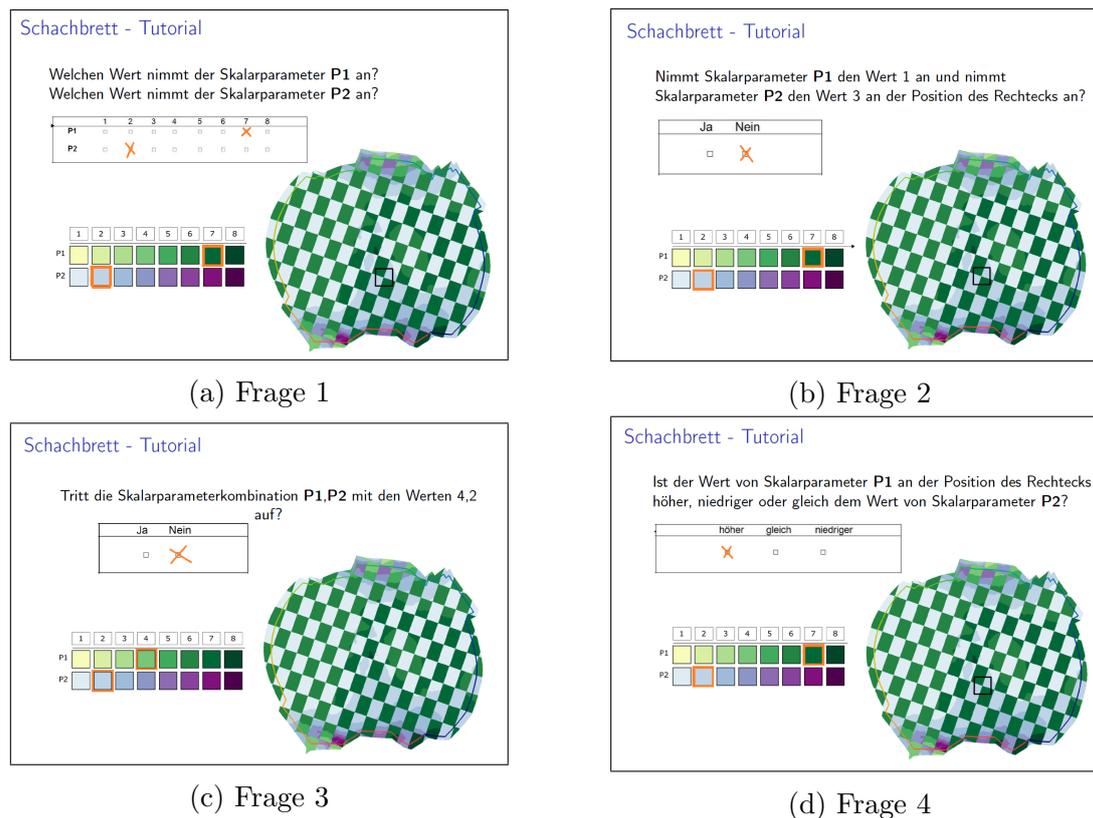


Abbildung 4.2: Tutorial-Folien für die Schachbrett Technik

Beispielen hat der Proband das Ranking für die Bilder und Videos aufgestellt und die Metadaten Fragen beantwortet.

4.2 Ergebnisse

An der Nutzerstudie haben insgesamt 41 Probanden teilgenommen, von denen 39 zur Auswertung einbezogen wurden. Davon sind 30 männlich und 11 weiblich. Die Probanden waren zwischen 17 und 61 Jahre alt und das durchschnittliche Alter der Probanden ist 27 Jahre. Die durchschnittliche Erfahrung mit computergestützter Auswertung von Skalarparametern war gering, es gab lediglich zwei Probanden, die ihre Erfahrung diesbezüglich als 'viel' einschätzten.

Zwei Probanden wurden aus der Wertung ausgeschlossen, da eine Person aufgrund einer ausgeprägten Farbsehschwäche Hilfe durch eine Begleitperson bei der Beantwortung der Fragen bekam und die andere die Aufgaben auf falsche Weise bearbeitet hat. Dadurch sind 39 Probanden zur Auswertung einbezogen wurden.

Als Nächstes werden die Antwortoptionen der Fragen auf numerische Werte abgebildet, damit sie statistisch ausgewertet werden können. Dabei werden die quantitativen Fragen auf den Wertebereich $[0,1]$ abgebildet. Für die Fragen, die die Antwortmöglichkeiten *Ja* oder *Nein* haben, wird für eine richtige Antwort eine 1 gegeben und bei einer falschen Antwort eine 0 gegeben. Die Fragen, die eine Antwort zwischen 1 und 8 erwarten, wird bei einer richtigen Antwort eine 1 gegeben und bei einer falschen Antwort eine 0 gegeben. Falls zwei oder mehr Kreuze gemacht werden konnten, wird pro richtiges Kreuz

der relative Anteil zwischen null und eins gegeben. Bei zwei anzukreuzenden Werten, wird eine 0.5 vergeben, wenn nur ein richtiges Kreuz gemacht wurde. Für die Fragen, bei denen die Antwort *höher*, *gleich*, *niedriger* oder *variierend* sein kann, wird bei einer richtigen Antwort eine 1 und bei einer falschen Antwort eine 0 gegeben. Die quantitativen Ergebnisse sind in Abbildung 4.3 dargestellt. Auf der X-Achse sind die vier Visualisierungstechniken für zeitunabhängige und zeitabhängige Beispiele abgebildet. Auf der Y-Achse ist der Fehlerquotient abgebildet. Null bedeutet viele Fehler und eins bedeutet keine Fehler.

Die kategorischen Antworten der qualitativen Fragen werden ebenfalls in numerische Werte umgewandelt. Dafür werden die Antworten auf die Werte [1,2,3,4,5] abgebildet. 1 steht für das schlechteste Attribut und 5 für das beste Attribut.

Für die qualitativen Fragen sind die Ergebnisse in den Abbildungen 4.3 bis 4.6 dargestellt. Auf der X-Achse sind die Visualisierungstechniken und auf der Y-Achse sind die Antwortmöglichkeiten abgebildet.

Das Ranking der Probanden für die Visualisierungstechniken nach zeitunabhängigen und zeitabhängigen Beispielen ist in Abbildung 4.7 zu sehen. Dabei sind auf der X-Achse die Visualisierungstechniken und auf der Y-Achse der durchschnittliche Rang der jeweiligen Technik für statische und dynamische Beispiele dargestellt.

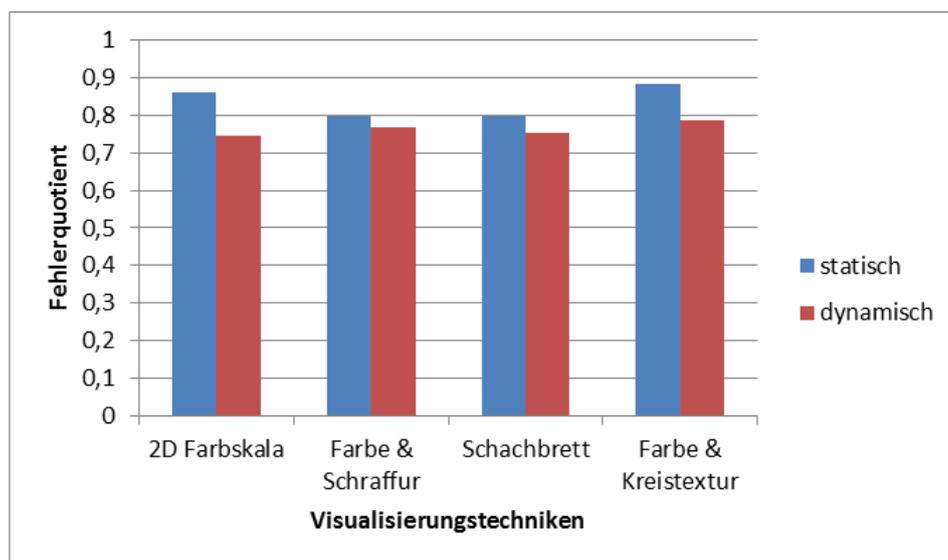


Abbildung 4.3: Ergebnisse quantitativen Fragen. Definition des Fehlerquotienten: Null - hohe Anzahl Fehler, Eins - niedrige Anzahl Fehler.

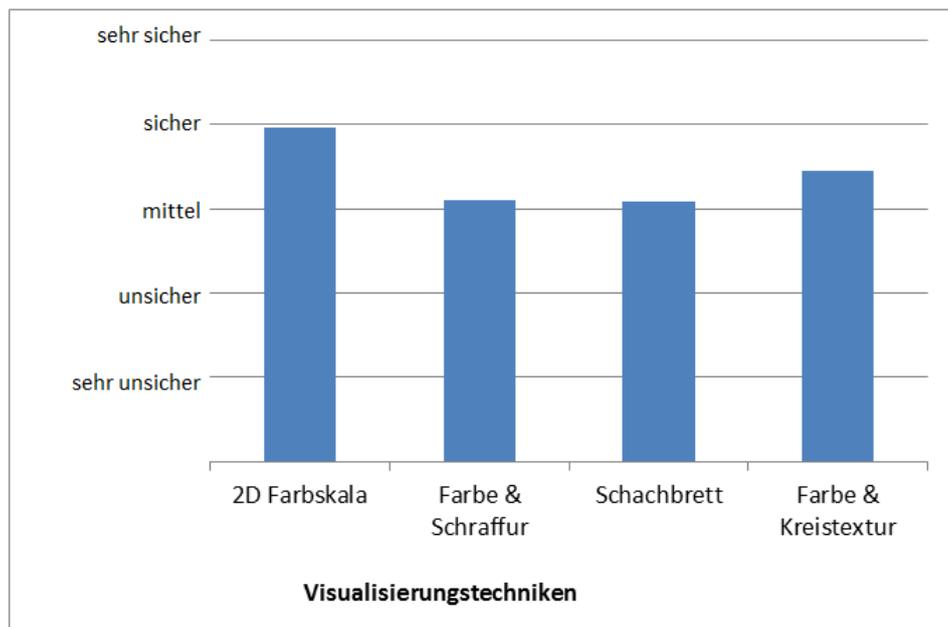


Abbildung 4.4: Ergebnisse qualitative Frage: „Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?“

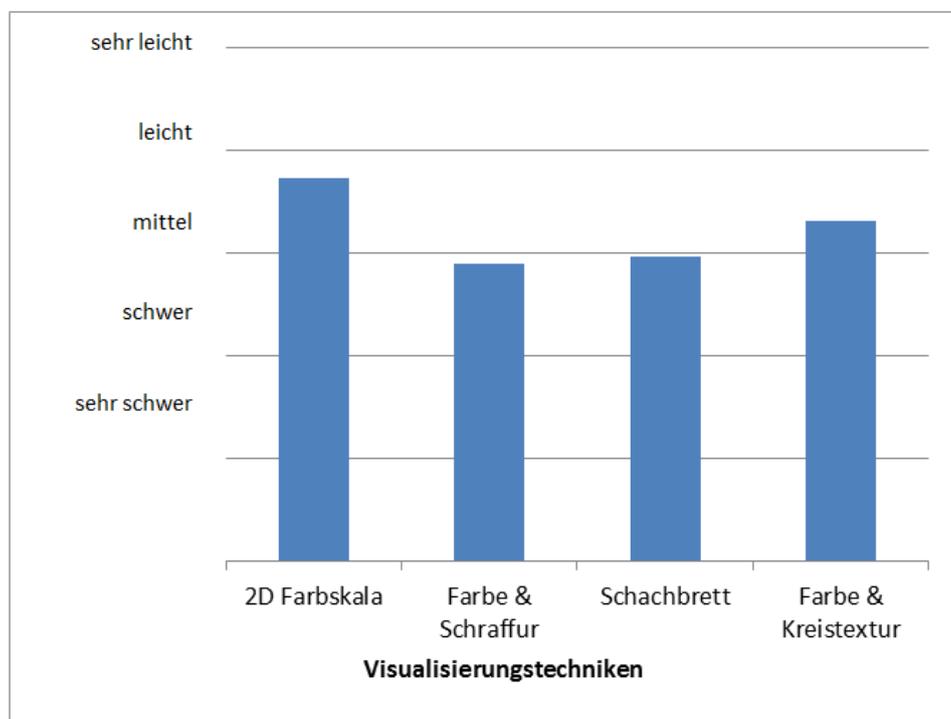


Abbildung 4.5: Ergebnisse qualitative Frage: „Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?“

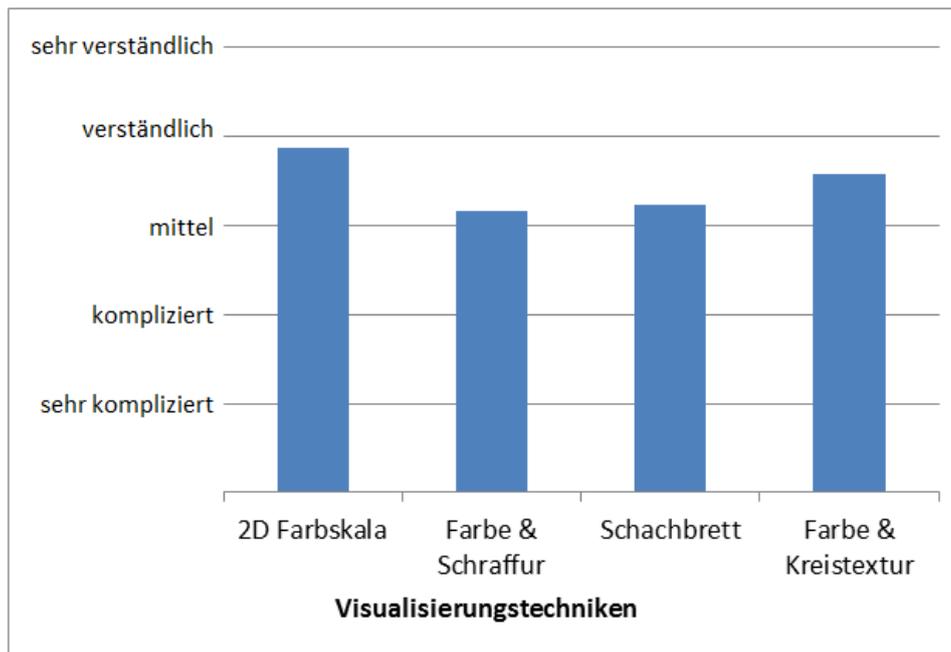


Abbildung 4.6: Ergebnisse qualitative Frage: „Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?“

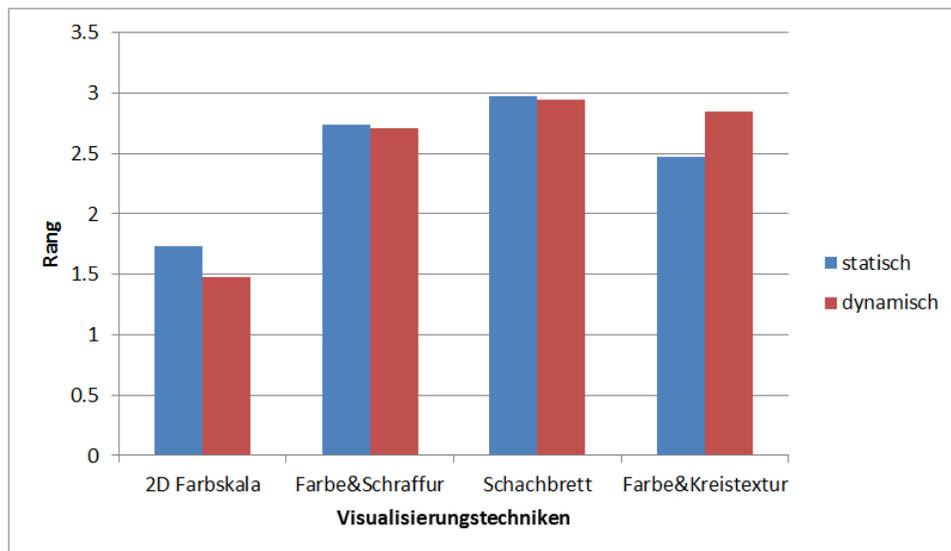


Abbildung 4.7: Ergebnisse Ranking der Visualisierungstechniken nach statisch und dynamischen Beispielen

Kapitel 5

Auswertung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Auswertung der Ergebnisse und einer kritischen Diskussion der Nutzerstudie. Dabei wird zwischen der Auswertung der quantitativen und der qualitativen Fragen unterschieden.

5.1 Auswertungsmethoden

Damit überprüft werden kann, ob die aufgestellten Hypothesen zu treffen, müssen die Ergebnisse der Nutzerstudie ausgewertet werden. Die Evaluationsmethoden können in quantitative, welche auch messbare Eigenschaften genannt werden, und qualitative, welche zum Beispiel durch Interviews evaluiert werden können, eingeteilt werden [22]. In der durchgeführten Nutzerstudie wurden quantitative Fragen gestellt. Deshalb kann ein Hypothesentest durchgeführt werden. Die gewonnenen Daten der Nutzerstudie lassen sich entweder durch einen parametrischen Test oder nicht-parametrischen Test auswerten. Alle Fragen, bei denen die Probanden mit den skalaren Werten an Beispielen arbeiten mussten, liefern metrische Daten, welche für einen parametrischen Test vorliegen müssen. Der Stichprobenumfang ist mit 39 Probanden groß genug, um einen parametrischen Test durchzuführen. Deshalb werden diese Fragen mit einem parametrischen Test ausgewertet. Da vier Visualisierungstechniken ausgewertet werden, wird ein *One-Way ANOVA* (engl. für analysis of variance) angewendet. Mithilfe dieses Testes kann herausgefunden werden, ob eine statistische Signifikanz zwischen drei oder mehreren unabhängigen Variablen besteht [8]. Als Nullhypothese wird angenommen, dass alle unabhängigen Variablen gleich sind, was in diesem Zusammenhang bedeuten würde, dass alle vier Visualisierungstechniken gleich gut zum Ablesen der skalaren Werte verwendet werden können. Die qualitativen Fragen, die auf das Wohlbefinden und die Verständlichkeit der Probanden eingehen, liefern ordinale Daten. Deshalb werden diese als nicht-parametrische Daten eingeordnet und mit einem anderen Test ausgewertet. Hierfür wird der *Kruskal Wallis Test* verwendet.

5.1.1 Auswertung der quantitativen Fragen

Die Fragen, die die Probanden auffordern die skalaren Werte der Beispiele zu betrachten, wurden mithilfe des *One-Way ANOVA*, ausgewertet. Die vorverarbeiteten Daten werden getrennt nach zeitunabhängigen und zeitabhängigen Beispielen in je einer Tabelle

zusammengefasst. Somit existieren zwei Tabellen, die alle Antworten der Probanden für jede Visualisierungstechnik und für jeden Fragentyp von den statischen oder dynamischen Beispielen enthalten. Auf diese zwei Tabellen wird dann der *One-Way ANOVA* Test ausgeführt. Dieser Algorithmus ist in der Programmiersprache R vorhanden und wird für die Auswertung genutzt. Dabei wird die Varianz einer Zielvariable, die durch die Einflussvariablen entsteht, berechnet [9]. Die Zielvariable ist die richtige Beantwortung der Fragen und die Einflussvariablen sind die vier Visualisierungstechniken. Diese beeinflussen das Ablesen der skalaren Werte, also die korrekte Beantwortung der jeweiligen Frage. Um herauszufinden, ob eine statistische Varianz vorliegt, wird die Nullhypothese aufgestellt, die besagt, dass alle Einflussvariablen gleich sind, also alle Visualisierungstechniken zur gleichen Antwortqualität der Fragen führen. Nun wird getestet, ob die Varianz innerhalb der Einflussvariablen größer ist als die Varianz zwischen den Einflussvariablen. Dies wird mit dem F-Wert der F-Verteilungsfunktion verglichen. Diese Funktion ergibt sich aus den Freiheitsgraden der Einflussvariablen und der F-Wert kann über das Signifikanzniveau (hier wird 10% verwendet) bestimmt werden. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% muss der F-Wert der Funktion kleiner als 2.63 sein, damit die Nullhypothese angenommen wird.

Für alle zeitunabhängigen Daten der vier Visualisierungstechniken ist der errechnete F-Wert 1.44, welcher der Quotient aus Varianz zwischen den Einflussvariablen und Varianz innerhalb der Einflussvariablen ist. Damit liegt der Wert unter 2.63 und die Nullhypothese ist erfüllt. Das bedeutet, dass innerhalb der zeitunabhängigen Beispiele kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Visualisierungstechniken vorliegt.

Für die zeitabhängigen Daten wurde ein F-Wert von 0.15 berechnet, welcher kleiner als 2.63 ist und ebenfalls bedeutet, dass keine statistische Signifikanz zwischen den Visualisierungstechniken für die zeitabhängigen Beispiele vorliegt. Somit ist die Hypothese H2 (Der Nutzer macht mit der Visualisierungstechnik 2D Farbskala am häufigsten (signifikant mehr) Fehler) abgelehnt, da kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Techniken für die quantitativen Fragen vorhanden ist.

Die Hypothese H4 (Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen) wird mittels ANOVA für die quantitativen Fragen getestet und separat für die Rangfolge mittels Kruskal Wallis Test getestet. Es wird getestet, ob diese Hypothese für die quantitativen Fragen angenommen wird. Dafür wird für jede Visualisierungstechnik geprüft, ob ein signifikanter Unterschied des Fehlerquotienten zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten vorliegt. Der F-Wert ergibt 2.74 bei der F-Verteilungsfunktion mit einem Freiheitsgrad (zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten) und einem Signifikanzniveau von 10%. Die Nullhypothese besagt, dass kein signifikanter Unterschied innerhalb einer Visualisierungstechnik zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten vorliegt.

Für die 2D Farbskala ist der F-Wert gleich 6.76, was bedeutet, dass ein signifikanter Unterschied vorliegt.

Für die Visualisierungstechnik Farbe und Kreistextur ist der F-Wert gleich 4.03, was bedeutet, dass auch hier ein signifikanter Unterschied vorliegt.

Der F-Wert der Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur ist gleich 0.32, was bedeutet, dass hier kein signifikanter Unterschied vorliegt.

Bei der Visualisierungstechnik Schachbrett ist der F-Wert 3.88. Auch für diese Technik ist ein signifikanter Unterschied zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten vorhanden.

Im Diagramm 4.3 ist der Fehlerquotient für die zeitunabhängigen und zeitabhängigen Beispiele dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei den zeitabhängigen Beispielen mehr Fehler gemacht wurden als bei den zeitunabhängigen. Da drei der Visualisierungstechniken einen signifikanten Unterschied des Fehlerquotienten zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten aufweisen, ist die Hypothese H4 (Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen) abgelehnt.

5.1.2 Auswertung der qualitativen Fragen

Der *Kruskal-Wallis-Test* [12] wird angewendet, wenn parameterfreie Daten vorliegen. Diese liegen bei der durchgeführten Nutzerstudie für die qualitativen Fragen und die Rangfolge der Visualisierungstechniken vor. Parameterfreie Daten liegen vor, wenn die Daten ordinal skaliert sind [22]. Die qualitativen Fragen und Antworten geben ordinal skalierte Daten, weshalb diese mit einem parameterfreien Verfahren ausgewertet werden. Die Nullhypothese beim *Kruskal-Wallis-Test* wird angenommen, wenn kein signifikanter Unterschied zwischen den Visualisierungstechniken vorliegt. Als Prüfgröße wird der χ^2 -Wert berechnet, welcher die Rangsumme über alle Beobachtungen für die einzelnen Gruppen bildet. Dieser Wert ist eine χ^2 -Verteilung. Damit für die Daten herausgefunden werden kann, ob die Nullhypothese erfüllt wird, wird der errechnete χ^2 -Wert mit dem χ^2 -Wert aus der Tabelle der χ^2 -Verteilung verglichen.

Der χ^2 -Wert der χ^2 -Verteilung für drei Freiheitsgrade (durch vier Visualisierungstechniken) ist für eine 90% Wahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau von 10%) 6.25. Dieser Wert muss überschritten werden, damit die Visualisierungstechniken signifikante Unterschiede aufweisen.

Für die erste Frage „Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?“ ist der errechnete χ^2 -Wert 20.66. Dieser ist größer als 6.25, somit liegt eine statistische Signifikanz zwischen den Visualisierungstechniken vor. Um herauszufinden, welche Technik sich signifikant von welcher unterscheidet, wird der *Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test* für jeweils zwei Visualisierungstechniken durchgeführt. Für die erste Frage sind die Ergebnisse der Paarvergleiche des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test [20] in Tabelle 5.1 oder im Balkendiagramm in Abbildung 4.4 abgebildet. Im Vergleich wird angenommen, dass die Werte, die aus den kategorischen Werten auf numerische abgebildet wurden, für eine Visualisierungstechnik kleiner sind als für die zu vergleichende Technik. Dies würde bedeuten, dass die Visualisierungstechnik mit den kleineren Werten schlechter abgeschnitten hat für diese Frage. Der P-Wert gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Werte der einen Visualisierungstechnik kleiner sind als die der anderen. Falls der P-Wert kleiner als 90% ist, kann kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Visualisierungstechnik festgestellt werden.

Für die zweite Frage „Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?“ ist der errechnete χ^2 -Wert 21.66. Dieser ist größer als 6.25, somit liegt ebenfalls eine statistische Signifikanz zwischen den Visualisierungstechniken vor. Die Tabelle 5.2 oder das Balkendiagramm in Abbildung 4.5 zeigen die Paarvergleiche der Visualisierungstechniken. Somit wird die Hypothese H1 (Dem Nutzer fällt das Ablesen der Werte mit der Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur leichter als mit anderen Visualisierungstechniken) abgelehnt, da die Technik Farbe & Schraffur in allen Paarvergleichen am schlechtesten abgeschnitten hat.

Tabelle 5.1: Ergebnisse Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Frage: „Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?“

Vergleich der Techniken			P-Wert
2D Farbskala	>	Schachbrett	100.00 %
2D Farbskala	>	Farbe & Schraffur	99.96 %
2D Farbskala	>	Farbe & Kreistextur	99.44 %
Farbe & Kreistextur	>	Schachbrett	98.46 %
Farbe & Kreistextur	>	Farbe & Schraffur	93.11 %
Farbe & Schraffur	>	Schachbrett	57.37 %

Für die dritte Frage „Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?“ ist der errechnete χ^2 -Wert 12.98. Dieser ist ebenfalls größer als 6.25, somit liegt auch hier eine statistische Signifikanz zwischen den Visualisierungstechniken vor. Die Tabelle 5.3 oder das Balkendiagramm in Abbildung 4.6 zeigen die Paarvergleiche der Visualisierungstechniken.

Die Rangfolge der Visualisierungstechniken, welche die Nutzer am Ende des Fragebogens ausgefüllt haben, wurde ebenfalls mittels des Kruskal-Wallis Test ausgewertet. Es wird getestet, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Rängen der Visualisierungstechniken für zeitunabhängige und zeitabhängige Daten vorliegt. Die Ränge wurden unterteilt nach zeitunabhängig und zeitabhängig auf dem Fragebogen abgefragt. Die Ergebnisse zeigen, dass für alle Visualisierungstechniken kein signifikanter Unterschied zwischen zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten vorliegt. Somit ist die Hypothese H4 (Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen) bezüglich der vom Nutzer empfundenen Rangordnung angenommen. Die Hypothesen H3 (Der Nutzer bevorzugt die Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur gegenüber anderen Techniken) bezieht alle Kruskal-Wallis Testergebnisse der drei qualitativen Fragen und der individuellen Rangfolge der Visualisierungstechniken mit ein. Da die Visualisierungstechnik Farbe & Schraffur im Paarvergleich für die qualitativen Fragen nur in zwei von drei Fällen am schlechtesten abgeschnitten hat (zu sehen in Tabelle 5.1) und für die Rangfolge kein signifikanter Unterschied zwischen den Techniken gemessen wurde, wird die Hypothese H3 abgelehnt.

Die Hypothese H5 (Der Nutzer fühlt sich mit der Visualisierungstechnik am wohlsten, mit der die wenigsten Fehler gemacht werden) bezieht die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Fragen mit ein. Da keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Visualisierungstechniken für die quantitativen Fragen gemessen werden konnten, wird die Hypothese abgelehnt.

Tabelle 5.4 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der Hypothesenauswertungen. Mögliche Ursachen für die Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

5.2 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Visualisierungstechniken und die Nutzerstudie kritisch hinterfragt sowie mögliche Bias-Faktoren diskutiert, die die gewonnenen Ergebnisse beeinflusst haben können. Dafür werden die individuellen Anmerkungen der Probanden, die sie auf den Fragebögen geben konnten, miteinbezogen.

Tabelle 5.2: Ergebnisse Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Frage: „Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?“

Vergleich der Techniken	P-Wert
2D Farbskala > Schachbrett	100.00 %
2D Farbskala > Farbe & Schraffur	100.00 %
Farbe & Kreistextur > Farbe & Schraffur	98.09 %
Farbe & Kreistextur > 2D Farbskala	97.32 %
Farbe & Kreistextur > Schachbrett	97.25 %
Schachbrett > Farbe & Schraffur	65.00 %

Tabelle 5.3: Ergebnisse Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Frage: „Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?“

Vergleich der Techniken	P-Wert
2D Farbskala > Schachbrett	99.82 %
2D Farbskala > Farbe & Kreistextur	95.27 %
2D Farbskala > Farbe & Schraffur	99.99 %
Farbe & Kreistextur > Farbe & Schraffur	95.64 %
Farbe & Kreistextur > Schachbrett	91.96 %
Schachbrett > Farbe & Schraffur	63.69 %

Tabelle 5.4: Zusammenfassung der Hypothesenauswertung.

Hypothesen Ergebnisse	
H1: Dem Nutzer fällt das Ablesen der Werte mit der Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur leichter als mit anderen Visualisierungstechniken	abgelehnt
H2: Der Nutzer macht mit der Visualisierungstechnik 2D Farbskala am häufigsten (signifikant mehr) Fehler	abgelehnt
H3: Der Nutzer bevorzugt die Visualisierungstechnik Farbe und Schraffur gegenüber anderen Techniken	abgelehnt
H4: Die Visualisierungstechniken eignen sich gleichermaßen für zeitabhängige und zeitunabhängige Darstellungen	bzgl. quantitativer Fragen abgelehnt, bzgl. indiv. Ranking angenommen
H5: Der Nutzer fühlt sich mit der Visualisierungstechnik am wohlsten, mit der die wenigsten Fehler gemacht werden	abgelehnt

5.2.1 Diskussion der Visualisierungstechniken

Aufgefallen bei der Auswertung ist, dass keine der Visualisierungstechniken besonders häufig von den Probanden kommentiert (gelobt oder abgelehnt) wurde. Es wurde jedoch häufig angemerkt, dass die Videoqualität der dynamischen Beispielbilder schlechter als die Bildqualität der statischen ist. Dadurch wurde insbesondere das Erkennen der Kreis-Textur und des Hatchings erschwert, wodurch eine fehlerhafte Beantwortung der Fragestellungen begünstigt wird und die Techniken dadurch möglicherweise als schlechter vom Nutzer eingeschätzt wurden. Das bedeutet, dass die Visualisierungstechniken Farbe und Kreis-Textur sowie Farbe und Schraffur möglicherweise bessere und damit signifikant verschiedene Ergebnisse erzielen würden, wodurch die Untersuchungsergebnisse der Hypothesen anders ausfallen könnten.

Manche Probanden gaben die Anmerkung, dass der Vergleich der Farbe oder Textur mit der nebenstehenden Legende viel Zeit in Anspruch nimmt. Um die Bearbeitungszeit einzelner Aufgaben zu verkürzen wäre es zum Einen ratsam, eine interaktive Nutzerstudie zu gestalten, bei der die Legende an beliebige Positionen verschoben werden könnte. Zum Anderen wäre es von Vorteil mehr Beispiele zu geben, um durch den Lerneffekt ein besseres Verständnis und Verinnerlichen der jeweiligen Technik zu fördern. Auf die Problematik bezüglich der Erhöhung der Beispiellanzahl wird bei der Diskussion der Nutzerstudie noch einmal stärker eingegangen.

Oft wurde der Wunsch geäußert, stärker differenzierbare Farben oder Texturen zu verwenden und dazu vorgeschlagen, verschiedene Farbtöne oder Texturen (wie Dreieck, Kreis und Quadrat) für einen einzigen Parameter zu verwenden. Eine Verwendung besser unterscheidbarer Farben oder Texturen wäre denkbar, jedoch sollten die Ordnungen innerhalb Skalen, die sie repräsentieren sollen, nicht verändert werden. Allerdings wäre es möglich, die Anzahl der Farbabstufung zu reduzieren und mit veränderbaren Schwellenwerten zu kombinieren, um Wertebereiche von Interesse dennoch sichtbar zu machen. Die wahrgenommenen Farbdifferenzen hängen jedoch nicht nur von der Wahl der Farbskala, sondern auch vom Ausgabemedium ab. Für die Nutzerstudie im Rahmen der *Langen Nacht der Wissenschaft* wurden PCs und Bildschirme, die vor Ort zur Verfügung gestellt werden konnten, unverändert verwendet. Dies kann sich ebenfalls nachteilig auf die Beantwortung der Fragen ausgewirkt haben, da Farbabstände schlechter erkannt wurden. In Zukunft muss der Kalibrierung des Bildschirms eine größere Bedeutung beigemessen werden.

5.2.2 Diskussion des Nutzerstudiendesigns

Der Stichprobenumfang der Nutzerstudie stellt ein deutliches Problem dar und sollte diskutiert werden. Jeder Studienteilnehmer bearbeitet nur vier Beispiele je Visualisierungstechnik und hat zuvor nur ein einziges erklärendes Beispiel als Tutorial erhalten. Dadurch wird die Möglichkeit, signifikante Unterschiede zwischen allen vier Visualisierungstechniken zu finden, deutlich erschwert. Dies könnte ein Grund für die Ablehnung aller Hypothesen mit Ausnahmen von H4 sein (vgl. Tabelle 5.4). Da die Studie jedoch im Rahmen der *Langen Nacht der Wissenschaft* durchgeführt wurde, musste der Umfang der gesamten Bearbeitungsdauer stark reduziert werden. Andernfalls wäre damit zu rechnen gewesen, dass Motivationslosigkeit dazu geführt hätte, dass die Bearbeitung der Aufgaben abgebrochen wird oder zufälligen Antworten angekreuzt werden.

Ein weiteres Problem in der Auswertung besteht darin, dass das Auflösungsvermögen der Visualisierungstechniken verschieden ist, das bedeutet, dass manche Techniken schlechter geeignet sind, eine hohe Anzahl verschiedener Wertebereiche darzustellen. Deshalb wurden bei einer reduzierten Anzahl an Wertebereichen bestimmte Wertebereiche zusammengefasst, die bei anderen Techniken separat dargestellt werden konnten. Dadurch ist ein direkter Vergleich der Visualisierungstechniken nicht möglich und die Auswertung vom gewählten System, die Werte und Antwortmöglichkeiten zu übersetzen, abhängig. In diesem Kontext und bei den dynamischen Beispielen wurden Mehrfachantworten nötig, die für den Probanden nicht immer eindeutig erschienen und die Beantwortung künstlich erschwerten. Auch bei der Auswertung der Nutzerantworten gestaltete es sich schwierig, die Antworten einheitlich und eindeutig als Wahr oder Falsch zu bestimmen.

Bezüglich der Fragestellungen ist anzumerken, dass abhängig von der gestellten Frage der Schwierigkeitsgrad aufgrund der verschiedenen komplexen Einzelschritte variiert. Die Auswirkung der Fragestellung auf die Fehlerhäufigkeit wurde jedoch nicht ausgewertet, da der Stichprobenumfang zu gering ausfällt und somit lediglich verfälschte Ergebnisse erzielt werden würden. Dennoch wurden verschiedene Fragestellungen genutzt, um die Komplexität einer umfangreichen Aufgabe zu mindern und die Teilaufgaben zu imitieren, die ein Nutzer bei der Auswertung von Skalarparametern bewältigen muss.

Bislang vernachlässigt wurde die fehlende Interaktivität der Studie, obwohl Interaktionen mit der Visualisierung bzw. dem Programm zur Untersuchung von Aneurysma-Skalarparametern essentiell notwendig sind. Indirekt wurde sich mehrfach eine Interaktion mit der Visualisierung gewünscht, beispielsweise um die Legende zu verschieben, die Größe der Felder bei der Visualisierungstechnik Schachbrett zu verändern um sicher auch den zweiten, verdeckten Parameterwert ablesen zu können usw. . Die Übersicht, die die Visualisierung gibt, könnte für die Endanwendung beispielsweise mit einem *Mouseover* ergänzt werden. Ein *Mouseover* dient dazu, beim Überfahren einer Position detaillierte Informationen zu dieser Position anzuzeigen. Zudem würde eine vollständig digitalisierte, interaktive Studie den Bearbeitungsaufwand des Probanden reduzieren, sodass an dieser Stelle Zeit gespart und für weitere Beispiele genutzt werden könnte, die den Stichprobenumfang und somit die Sicherheit der Ergebnisse erhöhen würden.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst das Projekt zusammen und geht darauf ein, ob das Ziel erreicht wurde. Im zweiten Abschnitt wird ein Ausblick auf weiter mögliche Verbesserungen der Visualisierungstechniken oder neuen Visualisierungstechniken gegeben.

6.1 Zusammenfassung

Ziel dieses Projekts war die Erkenntnisgewinnung, welche Visualisierungstechnik sich am besten eignet, um gleichzeitig zwei zeitabhängige oder zeitunabhängige Skalarparameter darzustellen. Dafür wurden zwei Visualisierungstechniken, deren Methoden bereits aus der Forschung bekannt sind, implementiert. Diese beiden Methoden und zwei weitere, bereits vorhanden Visualisierungstechniken, wurden anschließend untereinander verglichen. Für den Vergleich wurden Hypothesen aufgestellt und mithilfe einer Nutzerstudie getestet. Die Nutzerstudie bestand aus Fragebögen und Präsentationen einiger Beispiele der Visualisierungstechniken mit zeitabhängigen und zeitunabhängigen Daten. Durchgeführt wurde die Nutzerstudie im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaft in Magdeburg und es haben 39 Probanden teilgenommen. Herausgekommen ist, dass ein signifikant qualitativer Unterschied zwischen den Visualisierungstechniken vorliegt, allerdings kein quantitativer Unterschied gemessen werden konnte. Für die zeitunabhängigen und zeitabhängigen Daten wurde kein signifikanter Unterschied im Fehlerquotient oder im Ranking, welches von den Probanden gegeben wurde, gemessen.

6.2 Ausblick

Durch das Durchführen der Nutzerstudie sind mögliche Verbesserungen aufgekommen, die sowohl die Visualisierungstechniken bzw. die Darstellung als auch Interaktion mit den Daten betreffen.

Für die Visualisierungstechnik Farbe und Textur haben Probanden den Vorschlag gemacht, verschiedene Formen zu verwenden wie Kreis, Stern, Quadrat und Dreieck, da diese einfacher zu unterscheiden sind. Allerdings haben diese den Nachteil, dass eine Ordnung nicht eindeutig erkennbar ist. Ein anderer Vorschlag ist, Isolinien mit Symbolen in Richtung des Gradienten darzustellen oder die Strichstärke der Isolinien unterschiedlich dick darzustellen. Dies könnte kombiniert werden mit dem zweiten Parameter der auf

Farbe abgebildet wird. Dies ist eine Anlehnung an topografische Karten mit Höhenlinien und Regionalfarben, welches eine Farbskala von Grün über Gelb zu Braun ist, die an kulturgeografische Regionen angelehnt ist [7].

Für Darstellungsweise wurde der Vorschlag gemacht, erst eine Übersichtsvisualisierung mit weniger größeren Wertebereichen anzuzeigen und dann eine detailliertere Ansicht eines ausgewählten Wertebereichs mit feineren Abstufungen. Die anderen Bereiche könnten dann ausgeblendet bzw. ausgegraut werden. Die Visualisierungstechnik Schachbrett hat im Visualisierungsprogramm eine Toggle-Funktion, welche sich von Probanden gewünscht wurde. Für diesen Test wurde darauf verzichtet den Nutzer das Programm bedienen zu lassen, da dieses unerfahrene Nutzer, wie sie zur Langen Nacht der Wissenschaft erwartet wurden, überfordern könnte. Ein weiterer Vorschlag besteht darin Tooltips einzubauen. Diese könnten erscheinen, sobald mit der Maus über die Karte gefahren wird, was auch `textitMouseover` genannt wird, und zusätzliche Informationen oder die Werte der Skalarparameter an dieser Stelle anzeigen.

Es wäre denkbar, die Studie noch einmal vollständig digitalisiert und interaktiv mit den zuvor eingebrachten Verbesserungsvorschlägen durchzuführen. Damit sollten die Hypothesen noch einmal getestet und ggf. um die Komponente der Bearbeitungszeit erweitert werden, um möglicherweise zusätzliche Erkenntnisse zu erlangen. Zusätzlich zu den Verbesserungsvorschlägen sollte in Betracht gezogen werden, die Visualisierungstechniken für 3D zu evaluieren, da in diesem Bereich bislang wenig Forschung betrieben wurde. In Preim et al.[18] werden illustrative Visualisierungstechniken, wie Hatching oder Farbtonschattierungen, für 3D medizinischen Daten präsentiert, die aber nicht für die Wahrnehmung von dynamischen Daten angewendet werden, sondern für die Form- und Tiefenwahrnehmung. Bekannt ist, dass Texturen wie Hatching verwendet werden, um die Wahrnehmung von 3D Formen zu verbessern. Dies könnte mit der Idee kollidieren Hatching als Visualisierungstechnik zu verwenden, um die dynamischen Daten darzustellen. In einer weiteren Nutzerstudie kann erprobt werden, das Hatching als Tiefenwahrnehmung zu verwenden und die dynamischen Daten mit der 2D Farbskala darzustellen. Somit muss die Farbe nicht der Tiefenwahrnehmung dienen und das Problem der Verfälschung der Farbe durch Schattierungen wird umgangen. Dies wird in Boyaci et al.[5] als Vorschlag gegeben. In dieser Arbeit wird die Farbveränderung beschrieben, die abhängig von der Position und Ausrichtung des Objektes ist.

Eine Nutzerstudie mit Experten und direkten Anwendern des Programmes durchzuführen, sollte neben der Evaluierung der Visualisierungstechniken für 3D auch überlegt werden.

Anhang A

Fragebögen

Abbildung A.1: Fragebogen 1

Präsentationstyp:

Kontrollgruppe:

Fragebogen

Visualisierungstechnik 1:

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks an?

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P2** an der Position des Rechtecks an?

		1	2	3	4	5	6	7	8
Beispiel 1:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 2:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 3:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 4:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.2: Fragebogen 1

Visualisierungstechnik 2:

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks an?

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P2** an der Position des Rechtecks an?

		1	2	3	4	5	6	7	8
Beispiel 1:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 2:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 3:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 4:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

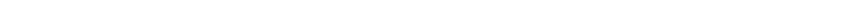


Abbildung A.3: Fragebogen 1

Visualisierungstechnik 3:

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks an?

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P2** an der Position des Rechtecks an?

		1	2	3	4	5	6	7	8
Beispiel 1:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 2:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 3:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.4: Fragebogen 1

Visualisierungstechnik 4:

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks an?

Welchen Wert nimmt der Skalarparameter **P2** an der Position des Rechtecks an?

		1	2	3	4	5	6	7	8
Beispiel 1:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 2:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 3:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							
Beispiel 4:	P1	<input type="checkbox"/>							
	P2	<input type="checkbox"/>							

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

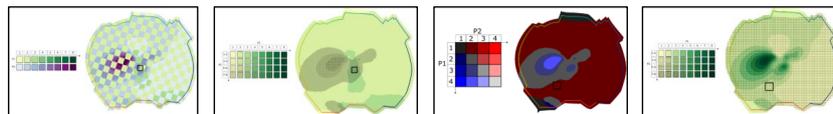
sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich



Abbildung A.5: Fragebogen 1

Abschlussfragen:

Ordnen Sie die Visualisierungstechniken nach eigener Beliebtheit in der rechten Tabelle. (1-beste, 4-schlechteste)



Schachbrett Farbe & Schraffur 2D Farbskala Farbe & Kreis-Textur

Bilder				
Videos				

Haben Sie weitere Anmerkungen? :

Personenbezogene Fragen:

Alter: _____

Geschlecht: männlich weiblich keine Angabe

Beruf: _____

Haben Sie Erfahrung mit computer-gestützter Auswertung von Skalarparametern?

keine wenig mittel viel

Haben Sie eine Farbsehschwäche?

Nein Ja, welche: _____

Abbildung A.6: Fragebogen 2

Präsentationstyp:

Kontrollgruppe:

Fragebogen

Visualisierungstechnik 1:

Nimmt Skalarparameter **P1** den Wert 1 an und nimmt Skalarparameter **P2** den Wert 3 an der Position des Rechtecks an?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher
 sicher
 mittel
 unsicher
 sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht
 leicht
 mittel
 schwer
 sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert
 kompliziert
 mittel
 verständlich
 sehr verständlich

Abbildung A.7: Fragebogen 2

Visualisierungstechnik 2:

Nimmt Skalarparameter **P1** den Wert 1 an und nimmt Skalarparameter **P2** den Wert 3 an der Position des Rechtecks an?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.8: Fragebogen 2

Visualisierungstechnik 3:

Nimmt Skalarparameter **P1** den Wert 1 an und nimmt Skalarparameter **P2** den Wert 3 an der Position des Rechtecks an?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.9: Fragebogen 2

Visualisierungstechnik 4:

Nimmt Skalarparameter **P1** den Wert 1 an und nimmt Skalarparameter **P2** den Wert 3 an der Position des Rechtecks an?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

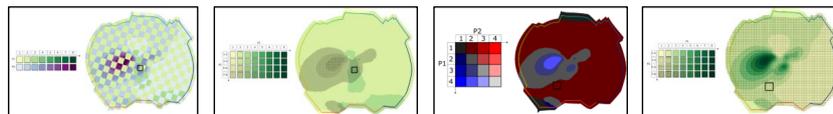
Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.10: Fragebogen 2

Abschlussfragen:

Ordnen Sie die Visualisierungstechniken nach eigener Beliebtheit in der rechten Tabelle. (1-beste, 4-schlechteste)



Schachbrett Farbe & Schraffur 2D Farbskala Farbe & Kreis-Textur

Bilder				
Videos				

Haben Sie weitere Anmerkungen? :

Personenbezogene Fragen:

Alter: _____

Geschlecht: männlich weiblich keine Angabe

Beruf: _____

Haben Sie Erfahrung mit computer-gestützter Auswertung von Skalarparametern?

keine wenig mittel viel

Haben Sie eine Farbsehschwäche?

Nein Ja, welche: _____

Abbildung A.11: Fragebogen 3

Präsentationstyp:

Kontrollgruppe:

Fragebogen

Visualisierungstechnik 1:

Tritt die Skalarparameterkombination **P1, P2** mit den Werten 4,2 auf?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.12: Fragebogen 3

Visualisierungstechnik 2:

Tritt die Skalarparameterkombination **P1**, **P2** mit den Werten 4,2 auf?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.13: Fragebogen 3

Visualisierungstechnik 3:

Tritt die Skalarparameterkombination **P1, P2** mit den Werten 4,2 auf?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.14: Fragebogen 3

Visualisierungstechnik 4:

Tritt die Skalarparameterkombination **P1, P2** mit den Werten 4,2 auf?

	Ja	Nein
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

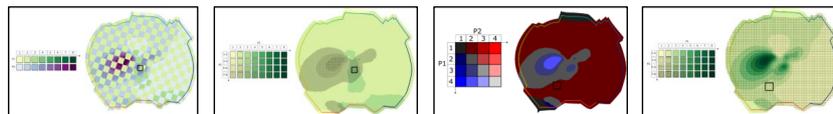
Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.15: Fragebogen 3

Abschlussfragen:

Ordnen Sie die Visualisierungstechniken nach eigener Beliebtheit in der rechten Tabelle. (1-beste, 4-schlechteste)



Schachbrett Farbe & Schraffur 2D Farbskala Farbe & Kreis-Textur

Bilder				
Videos				

Haben Sie weitere Anmerkungen? :

Personenbezogene Fragen:

Alter: _____

Geschlecht: männlich weiblich keine Angabe

Beruf: _____

Haben Sie Erfahrung mit computer-gestützter Auswertung von Skalarparametern?

keine wenig mittel viel

Haben Sie eine Farbsehschwäche?

Nein Ja, welche: _____

Abbildung A.16: Fragebogen 4

Präsentationstyp:

Kontrollgruppe:

Fragebogen

Visualisierungstechnik 1:

Ist der Wert von Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks höher, niedriger oder gleich dem Wert von Skalarparameter **P2**?

	höher	gleich	niedriger	variierend
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.17: Fragebogen 4

Visualisierungstechnik 2:

Ist der Wert von Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks höher, niedriger oder gleich dem Wert von Skalarparameter **P2**?

	höher	gleich	niedriger	variierend
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.18: Fragebogen 4

Visualisierungstechnik 3:

Ist der Wert von Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks höher, niedriger oder gleich dem Wert von Skalarparameter **P2**?

	höher	gleich	niedriger	variierend
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

Abbildung A.19: Fragebogen 4

Visualisierungstechnik 4:

Ist der Wert von Skalarparameter **P1** an der Position des Rechtecks höher, niedriger oder gleich dem Wert von Skalarparameter **P2**?

	höher	gleich	niedriger	variierend
Beispiel 1:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 2:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 3:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Beispiel 4:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie sicher fühlen Sie sich, dass Sie mit dieser Visualisierungstechnik die Fragen korrekt beantwortet haben?

sehr sicher sicher mittel unsicher sehr unsicher

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, die Fragen mit der Visualisierungstechnik zu beantworten?

sehr leicht leicht mittel schwer sehr schwer

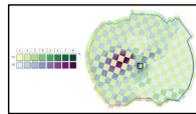
Wie empfinden Sie die Visualisierungstechnik?

sehr kompliziert kompliziert mittel verständlich sehr verständlich

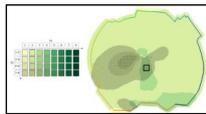
Abbildung A.20: Fragebogen 4

Abschlussfragen:

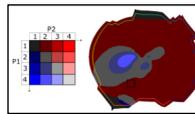
Ordnen Sie die Visualisierungstechniken nach eigener Beliebtheit in der rechten Tabelle. (1-beste, 4-schlechteste)



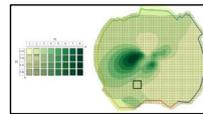
Schachbrett



Farbe & Schraffur



2D Farbskala



Farbe & Kreis-Textur

Bilder				
Videos				

Haben Sie weitere Anmerkungen? :

Personenbezogene Fragen:

Alter: _____

Geschlecht: männlich weiblich keine Angabe

Beruf: _____

Haben Sie Erfahrung mit computer-gestützter Auswertung von Skalarparametern?

keine wenig mittel viel

Haben Sie eine Farbsehschwäche?

Nein Ja, welche: _____

Anhang B

Präsentationen

Abbildung B.1: Präsentation 1

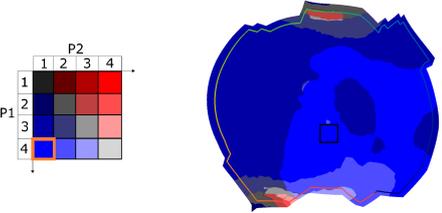
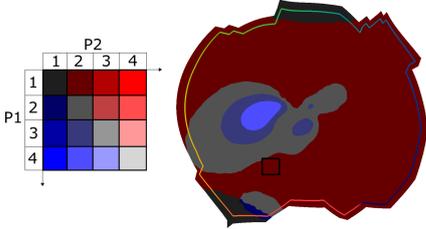
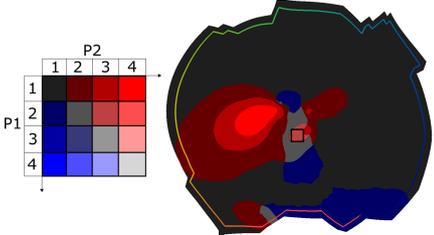
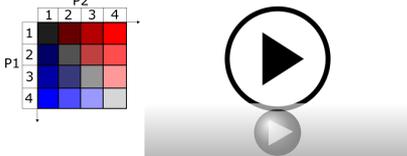
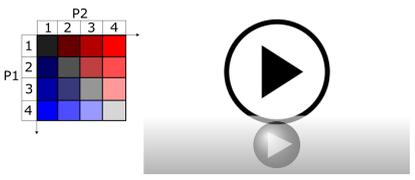
<p style="text-align: center;">Wahrnehmungsbasierte Studie</p> <p style="text-align: center;">June 2, 2018</p>	<p>Einführung - Skalarparameter</p> <p>Was sind Skalarparameter? ▶ An einer Position werden verschiedene Messwerte gemessen. ▶ Ein Beispiel sehen Sie auf der nebenstehenden Grafik: In Magdeburg wird die Temperatur und der Luftdruck zum gleichen Zeitpunkt gemessen.</p>  <p style="text-align: right; font-size: small;">Quelle: Wikipedia, Hagar66</p> <p>In dieser Studie werden zwei Skalarparameter mithilfe verschiedener Visualisierungstechniken gleichzeitig dargestellt.</p>																		
<p>2D Farbskala - Tutorial</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>P1</td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>P2</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> 	P1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>2D Farbskala - Beispiel 1</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 						
P1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											
<p>2D Farbskala - Beispiel 2</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>2D Farbskala - Beispiel 3</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 																		
<p>2D Farbskala - Beispiel 4</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Diese Visualisierungstechnik ist geschafft, bitte füllen Sie noch die zusätzlichen Fragen auf dem Fragebogen zu dieser Visualisierungstechnik aus.</p> <p>Wenn Sie damit fertig sind, bitte beim Versuchsleiter melden :)</p>																		

Abbildung B.2: Präsentation 1

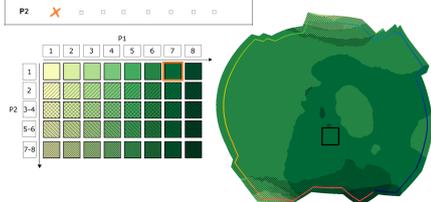
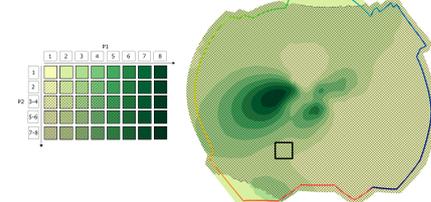
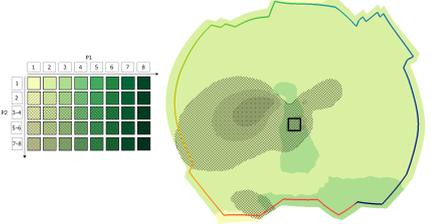
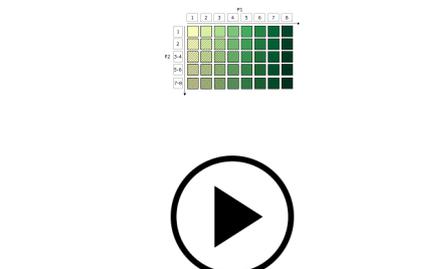
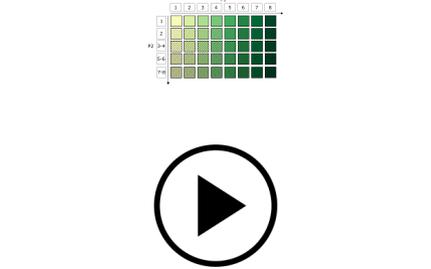
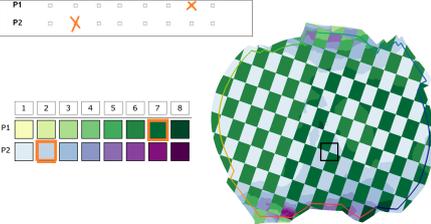
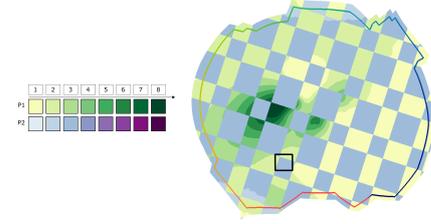
<p>Farbe und Schraffur - Tutorial</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>P1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>P2</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> 	P1	1	2	3	4	5	6	7	8		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Farbe und Schraffur - Beispiel 1</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 											
P1	1	2	3	4	5	6	7	8																				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				
P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				
<p>Farbe und Schraffur - Beispiel 2</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Farbe und Schraffur - Beispiel 3</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 																											
<p>Farbe und Schraffur - Beispiel 4</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Diese Visualisierungstechnik ist geschafft, bitte füllen Sie noch die zusätzlichen Fragen auf dem Fragebogen zu dieser Visualisierungstechnik aus.</p> <p>Wenn Sie damit fertig sind, bitte beim Versuchsleiter melden :)</p>																											
<p>Schachbrett - Tutorial</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>P1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>P2</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> 	P1	1	2	3	4	5	6	7	8		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<p>Schachbrett - Beispiel 1</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 												
P1	1	2	3	4	5	6	7	8																				
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																				
P2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				

Abbildung B.3: Präsentation 1

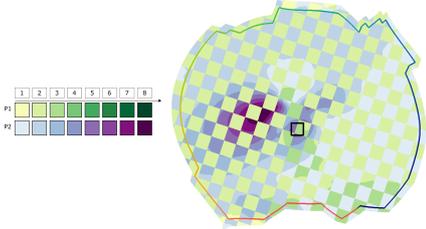
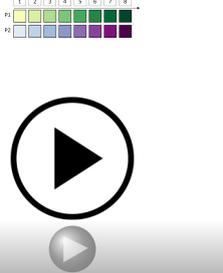
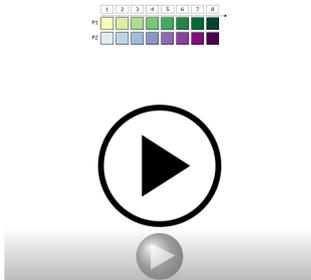
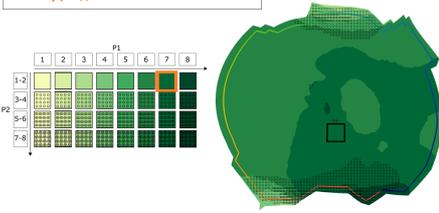
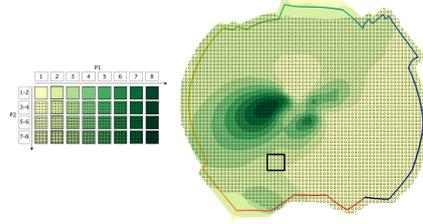
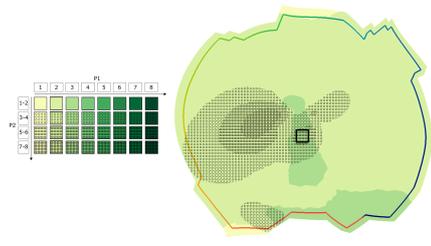
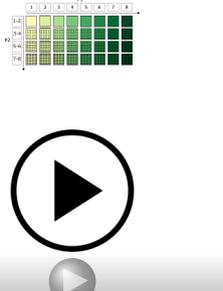
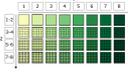
<p>Schachbrett - Beispiel 2</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Schachbrett - Beispiel 3</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 																		
<p>Schachbrett - Beispiel 4</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Diese Visualisierungstechnik ist geschafft, bitte füllen Sie noch die zusätzlichen Fragen auf dem Fragebogen zu dieser Visualisierungstechnik aus.</p> <p>Wenn Sie damit fertig sind, bitte beim Versuchsleiter melden :)</p>																		
<p>Farbe und Kreis-Textur - Tutorial</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> <table border="1" data-bbox="311 1220 566 1265"> <tr><td>P1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>P2</td><td>X</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> 	P1	1	2	3	4	5	6	7	8	P2	X	X							<p>Farbe und Kreis-Textur - Beispiel 1</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 
P1	1	2	3	4	5	6	7	8											
P2	X	X																	
<p>Farbe und Kreis-Textur - Beispiel 2</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 	<p>Farbe und Kreis-Textur - Beispiel 3</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p> 																		

Abbildung B.4: Präsentation 1

<p>Farbe und Kreis-Textur - Beispiel 4</p> <p>Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P1 an? Welchen Wert nimmt der Skalarparameter P2 an?</p>  	<p>Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Bitte beantworten Sie auch noch die letzten Fragen auf Ihrem Fragebogen.</p>
---	---

Literaturverzeichnis

- [1] *Farbtäuschungen*. https://www.illusionen.biz/blog/?page_id=22
- [2] *Skalar*. <https://www.duden.de/node/661173/revisions/1602168/view>
- [3] BERGMAN, L. D. ; ROGOWITZ, B. E. ; TREINISH, L. A.: A rule-based tool for assisting colormap selection. In: *Proceedings Visualization '95*, 1995. – ISSN 1070–2385, S. 118–125
- [4] BERTIN, J. ; BARBUT, M.: *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Gauthier Villars, 1973 <https://books.google.fr/books?id=F4weAAAAAAAJ>
- [5] BOYACI, H. ; DOERSCHNER, K. ; SNYDER, J. L. ; MALONEY, L. T.: Surface color perception in three-dimensional scenes. In: *Visual neuroscience* 23 (2006), Nr. 3-4, S. 311–321
- [6] FAY, D. ; WAXMAN, A. ; AGUILAR, M. ; IRELAND, D. ; RACAMATO, JP ; ROSS, WD ; STREILEIN, W. W. ; BRAUN, MI: Fusion of multi-sensor imagery for night vision: color visualization, target learning and search. In: *Information Fusion, 2000. FUSION 2000. Proceedings of the Third International Conference on* Bd. 1 IEEE, 2000, S. TUD3–3
- [7] HAKE, G. ; GRÜNREICH, D. ; MENG, L.: *Kartographie: Visualisierung raumzeitlicher Informationen*. de Gruyter, 2002 (De Gruyter Lehrbuch). https://books.google.no/books?id=_LMXZ42gjPYC. – ISBN 9783110164046
- [8] HEIBERGER, R. M. ; NEUWIRTH, E.: One-Way ANOVA. In: *R Through Excel: A Spreadsheet Interface for Statistics, Data Analysis, and Graphics*. New York, NY : Springer New York, 2009, S. 165–191
- [9] HILGERS, R.-D. ; HEUSSEN, N. ; STANZEL, S.: Varianzanalyse. In: GRESSNER, Axel M. (Hrsg.) ; ARNDT, Torsten (Hrsg.): *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Springer Berlin Heidelberg, 2018, S. 1
- [10] HOLLSTEIN, P.: Neue Technologien zu selten eingesetzt. In: *Pharmazeutische Zeitung online* (2003). <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=26096>
- [11] KIRK, Andy: *Bivariate choropleth maps*. <http://www.visualisingdata.com/2017/06/bivariate-choropleth-maps/>. Version: Jun 2017

- [12] KRUSKAL, W. H. ; WALLIS, W. A.: Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. In: *Journal of the American Statistical Association* 47 (1952), Nr. 260, 583-621. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>. – DOI 10.1080/01621459.1952.10483441
- [13] MACKINLAY, J.: Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information. In: *ACM Trans. Graph.* 5 (1986), April, Nr. 2, S. 110–141
- [14] MATHIS, B.: *HSL Color Picker*. <http://hslpicker.com/>. Version: 2012
- [15] MEUSCHKE, M. ; GUNTHER, T. ; BERG, P. ; WICKENHOFER, R. ; PREIM, B. ; LAWONN, K.: Visual Analysis of Aneurysm Data using Statistical Graphics. In: *IEEE Trans Vis Comput Graph* (2018), Aug. <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864509>. – DOI 10.1109/TVCG.2018.2864509
- [16] MISSFELDT, M.: *Farben*. <https://www.optikunde.de/farbe/>. Version: 2016
- [17] MORELAND, K.: Diverging color maps for scientific visualization. In: *International Symposium on Visual Computing* Springer, 2009, S. 92–103
- [18] PREIM, B. ; BAER, A. ; CUNNINGHAM, D. ; ISENBERG, T. ; ROPINSKI, T.: A Survey of Perceptually Motivated 3D Visualization of Medical Image Data. In: *Computer Graphics Forum* 35 (2016), Juni, Nr. 3, 501-525. <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.12927>. – DOI 10.1111/cgf.12927
- [19] PUES, M.: Hirnaneurysmen: Zeitbomben im Kopf. In: *Pharmazeutische Zeitung online* (2013). <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=47093>
- [20] REY, D. ; NEUHÄUSER, M.: Wilcoxon-Signed-Rank Test. In: LOVRIC, Miodrag (Hrsg.): *International Encyclopedia of Statistical Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 1658–1659
- [21] RISPOLI, V. C. ; NIELSEN, J. F. ; NAYAK, K. S. ; CARVALHO, J. L. A.: Computational fluid dynamics simulations of blood flow regularized by 3D phase contrast MRI. In: *BioMedical Engineering OnLine* 14 (2015), Nov, Nr. 1, S. 110
- [22] SAALFELD, P. ; LUZ, M. ; BERG, P. ; PREIM, B. ; SAALFELD, S.: Guidelines for Quantitative Evaluation of Medical Visualizations on the Example of 3D Aneurysm Surface Comparisons. In: *Comput. Graph. Forum* 37 (2018), Nr. 1, 226–238. <http://dx.doi.org/10.1111/cgf.13262>. – DOI 10.1111/cgf.13262
- [23] STEVENS, J.: *Bivariate Choropleth Maps: A How-to Guide*. <http://www.joshuastevens.net/cartography/make-a-bivariate-choropleth-map/>. Version: Feb 2015